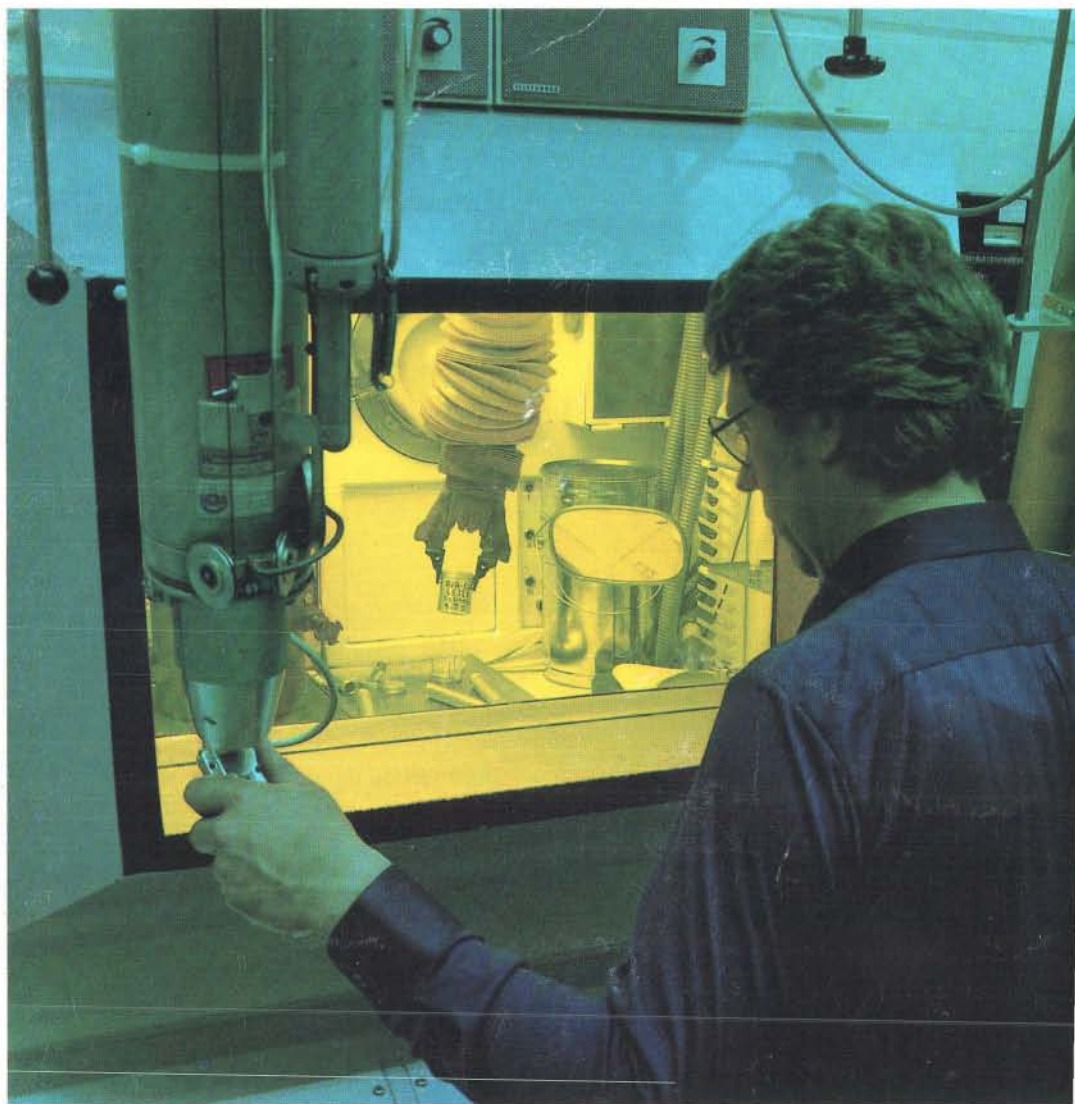


10

58<sup>e</sup> jaargang

# NATUUR '90 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



## **RADIOACTIVITEIT**

DE AARD VAN HET BEESTJE/ZENUW, ZIEL EN ZIEKTE/CRYO-SEM/  
HOKJES IN EEN EMBRYO/ZONNEVLEKKEN EN HET WEER

Aardgas komt uit de aarde, zou je zeggen. Dat klopt, maar 't klopt niet meer helemaal. Sinds 1987 haalt de Gasunie een deel van ons aardgas, de stikstof, soms gewoon uit de lucht.

Hoe zit dat? Wel, het ene aardgas is het andere niet. Het gas uit Groningen heeft bijvoorbeeld een andere samenstelling en calorische waarde dan het gas uit velden in Drenthe en Twente.

Het eerste gas, waarop onze gastoestellen zijn afgesteld, bevat 14% stikstof en het laatste gas slechts 2%. Het lijkt als het ware aan een stikstoftekort.

Vandaar dat we in Ommen een stikstoffabriek hebben gebouwd, waar bij een temperatuur van 164 graden onder nul iets plaatsvindt dat ook in onze longen gebeurt: stikstof wordt van zuurstof gescheiden.

De zuurstof gaat terug de lucht in en met de stikstof verrijken we het stikstofarme aardgas tot het de 'Groningse standaard' heeft bereikt. Thuis zult u dus nooit merken dat er verschillende aardgassen zijn.

Meer weten over aardgas? Een briefje (zonder postzegel) naar NV. Nederlandse Gasunie, antw.nr. 23, 9700 VB Groningen en wij sturen u de brochures "Aardgastransport" en "Stikstofconditionering" toe. **Ons aardgas is in goede handen bij de Gasunie.**



Hier halen we  
tegenwoordig  
'n deel van ons  
aardgas uit.



# NATUUR '90 & TECHNIEK

Losse nummers:  
f 10,95 of 215 F.

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad

## Bij de omslag



Hoog-radioactief materiaal moet je voorzichtig aanpakken; het kan immers gevaar opleveren voor levende wezens. Een belangrijk kenmerk van de straling is het doordringend vermogen ervan. Doordat dat beperkt is, kan deze operator veilig werken achter een dikke glazen afschermwand. Het eerste middenkatern *Kijk op Wetenschap* gaat over de eigenschappen van radioactiviteit.

(foto: KFA Forschungszentrum Jülich, D)

Hoofdredacteur: Th.J.M. Martens.

Adj. hoofdredacteur: Dr G.M.N. Verschuuren.

Redactie: Drs G.F.M. Hendrickx, Drs T.J. Kortbeek,  
Drs E.J. Vermeulen.

Redactiesecretariaat: R.A. Bodden-Welsch, Drs L.P.J. Slangen.

Onderwijscontacten: W.H.P. Geerits, tel.: 0(0-31)4759-1305.

Redactiemedewerkers: Drs J. Bouma, Drs G.P.Th. Kloeg,  
A. de Kool, Prof dr H. Lauwerier, Drs J.C.J. Masschelein, Ir S. Rozendaal, Dr J. Willems.

Wetenschappelijke correspondenten: Ir J.D. van der Baan, Dr P. Bentvelzen, Dr W. Bijleveld, Dr E. Dekker, Drs C. Floor, Dr L.A.M. v.d. Heijden, Ir F. Van Hulle, Dr F.P. Israël, Drs J.A. Jasperse, Dr D. De Keukeleire, Dr F.W. van Leeuwen, Ir T. Luyendijk, Dr P. Mombaerts, Dr C.M.E. Otten, Ir A.K.S. Polderman, Dr J.F.M. Post, R.J. Querido, Dr A.F.J. v. Raan, Dr A.R. Ritsema, Dr M. Sluysers, Dr J.H. Stel, J.A.B. Verduijn, Prof dr J.T.F. Zimmerman.

Redactie Adviesraad: Prof dr W.J. van Doorenmaalen, Prof dr W. Fiers, Prof dr H. van der Laan, Prof dr ir A. Rörsch, Prof dr R.T. Van de Walle, Prof dr F. Van Noten.

De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van *Natuur & Techniek* in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Vormgeving: H. Beurskens, J. Pohlen, M. Verreijt.

Druk.: VALKENBURG OFFSET BV, Echt (L.).

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Voor België:  
Boechtstraat 15, 1860-Meuse/Brussel. Tel.: 0(0-31)43 254044 (op  
werkdagen tot 16.30 uur). Fax: 0(0-31)43 216124.

Voor nieuwe abonnementen: 0(0-31)43 254044  
(tot 20.30 uur, óók in het weekend).

Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen project, waarin NATUUR & TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), BILD DER WISSENSCHAFT (D), SCIENZA E TECNICA (I), PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR) en MUNDO CIENTIFICO (E), met de steun van de Commissie van de EG.

Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikaties in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever.

Een uitgave van

ISSN 0028-1093

**EURO**  
ARTIKEL



**Centrale uitgeverij en adviesbureau b.v.**

# INHOUD

AUTEURS XIII

HOOFDARTIKEL/Basiskennis 671

DE AARD VAN HET BEESTJE 672

Een hond in een mensenroedel

**W.J. Netto en M.B.H. Schilder**

Onze meest populaire huisdieren, de hond en de kat, stammen af van roofdieren. Een 'roofdier' in de huiskamer, levert dat geen problemen op? Meestal niet – gelukkig – hoewel we de laatste tijd steeds vaker de problemen tegenkomen die voortvloeien uit het gedrag van honden. En dat betreft niet alleen het agressieve gedrag van Pit-bullterriërs. Blaffen, grommen en bijten horen nu eenmaal evengoed bij honden als snuffelen en kwispelen. Zowel erfelijke aanleg als omgevingsinvloeden bepalen het gedrag. Voor onze relatie met een hond als huisdier is enig inzicht in beide aspecten erg nuttig.



ZENUW, ZIEL EN ZIEKTE 684

Evenwicht in de hersenen

**L. Pepplinkhuizen**

Psychische klachten en psychiatrische symptomen doet men in de volksmond vaak af met de opmerking dat degene die ze vertoont, uit zijn evenwicht is geraakt of een onevenwichtig karakter heeft. Blijkbaar berust geestelijke gezondheid op een soort evenwicht tussen tegenstrijdige krachten. De complexiteit van het centrale zenuwstelsel gaat onze huidige inzichten ver te boven. Het behoort tot de wereldwonderen dat een zó groot orkest van vele spelers en hun instrumenten in staat is tot een harmonieus samenspel. Wat is er over die harmonie bekend?



CRYO-SEM 696

Zicht op bevroren leven

**A. Boekestein en S. Henstra**

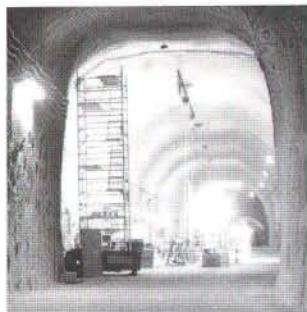
Als een onderzoeker biologisch materiaal onderzoekt met behulp van scanning-elektronenmicroscopie, bestaat het gevaar dat het verkregen beeld een artefact is, een onwerkelijke weergave van het oorspronkelijke onderwerp. Daarom tracht men steeds betere methoden te vinden voor het prepareren van biologisch materiaal. Met name het snelle bevriezen van preparaten maakt het mogelijk een biologische object te immobiliseren en te conserveren, terwijl men de optie blijft houden om naar dit stukje bevroren leven te kijken met alle mogelijkheden die de moderne elektronenmicroscopie ons biedt.





# NATUUR '90 & TECHNIEK

oktober/ 58<sup>e</sup> jaargang/1990

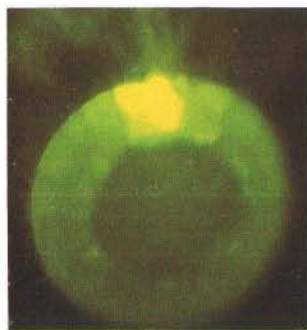


## KIJK OP WETENSCHAP

### Radioactiviteit

**Christine Sutton**

Radioactiviteit is een monsterlijk produkt van de twintigste eeuw geworden – omdat zij dodelijk kan zijn. Toch is radioactiviteit een natuurlijk proces, dat zich al voordoet sinds de eerste elementen zich vormden tijdens het ontstaan van het heelal. Zij doet zich voor in ons huis, in het voedsel dat we eten; zelfs ons lichaam is radioactief. Zonder radioactiviteit zouden wij nooit zijn ontstaan.



### GROEIENDE HOKJESGEEST

712

Compartmenten in een embryo

**J.A.M. van den Biggelaar en F. Serras**

De nieuwe generaties cellen die uit een bevruchte eicel voortkomen, zijn alleen gezamenlijk in staat een compleet embryo te vormen; in groepjes specialiseren ze zich in de vorming van een fragment uit het grotere geheel. Aanvankelijk bestaat het embryo uit één ononderbroken communicatiesysteem. Daarna gaan er zich compartimenten van cellen aftekenen, als voorlopers van een onderdeel van het embryo. Van nu af aan vindt alleen communicatie plaats tussen cellen van hetzelfde compartiment, en neemt de communicatie tussen de compartimenten geleidelijk af.



### ACHTER DE WOLKEN...

724

Zonnevlekken en het weer

**C.J.E. Schuurmans**

Hadden we in 1989 een mooie zomer omdat het aantal zonnevlekken sterk toenam? Het antwoord op deze vraag is in de vele honderden artikelen die over het onderwerp zonne-activiteit en het weer inmiddels zijn gepubliceerd, niet te vinden. De meteorologische wetenschap heeft die conclusie ook getrokken. Omdat duidelijke successen uitbleven en de theorie over het verband tussen zonnevlekken, klimaat en weer nogal vaag is, werd er de laatste 25 jaar geen geld meer aan dit onderzoek uitgegeven. Recente ontwikkelingen brengen daar misschien verandering in.

### ANALYSE EN KATALYSE

734

De persoonlijkheid van een dier/  
Een stijfkoppige Russische bioloog

### ACTUEEL

745

### PRIJSVRAAG

745

# WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN EUROPA

**D**oor de traditionele media - kranten, tijdschriften en t.v. - worden wij geregeld op de hoogte gehouden van belangrijke ontwikkelingen in wetenschap en techniek. Die ontwikkelingen hebben echter meestal betrekking op ons eigen land of op de Verenigde Staten en Japan. De overige landen in Europa blijven veelal buiten schot. De gemiddelde Europeaan denkt en voelt zich daardoor vaak - ten onrechte - de mindere van een Amerikaan of Japanner. De Europese wetenschap is echter van hoog niveau. Met een bevolking van meer dan 400 miljoen inwoners - met gemiddeld een uitzonderlijk hoog opleidingsniveau - kan Europa zich in de 90-er jaren tot het potentieel sterkste wetenschappelijke continent ontwikkelen. En dat zeker als het grote contingent aan wetenschappelijk intellect uit de Oost-Europese landen zich bij het Westen aansluit.

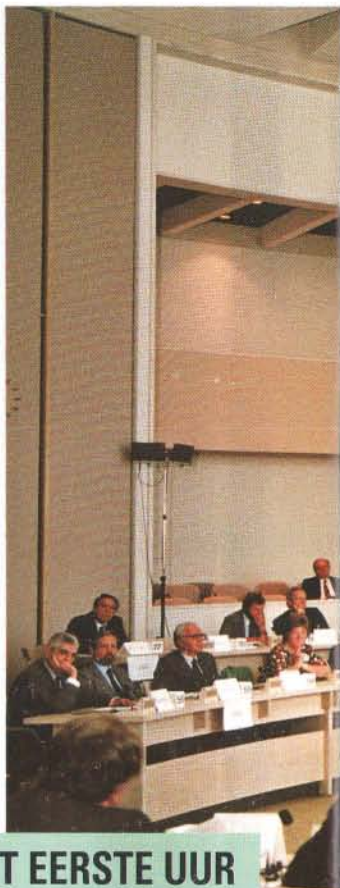
Al jaren zijn Europese wetenschapsjournalisten en redacteuren van vooraanstaande wetenschappelijke tijdschriften zich dan ook bewust van het belang van een goede voorlichting op Europees niveau. Zo vormde een drietal van hen al in 1985 een werkgroep, die daarover intensieve besprekingen voerde met leidinggevende politici en topfunctionarissen uit het Europese bedrijfsleven, met de Europese Commissie, alsmede met de belangrijkste wetenschappelijke onderzoekcentra, in de landen van West-Europa. Met het doel: 'Europa's technisch en wetenschappelijk kunnen in kaart te brengen' werd toen op 10 september 1988 in Maastricht de FOUNDATION SCIENTIFIC EUROPE opgericht, in aanwezigheid van bijna 250 genodigden uit de kringen van Overheid, Wetenschap en Industrie, afkomstig uit alle twintig landen van de Raad van Europa.

## DE OPRICHTERS VAN HET EERSTE UUR

**Nigel Calder** (1931), de beroemde Engelse wetenschapsjournalist, bekend van zijn werk voor enkele wereldwijd uitgezonden televisieseries over wetenschappelijke onderwerpen, in opdracht van de BBC. Mede als auteur van meer dan 25 boeken ontving hij in 1972 de Kalinga-prijs van de UNESCO voor zijn belangrijke bijdrage aan de popularisering van de wetenschap.

**Bernard Dixon** (1939), jarenlang hoofdredacteur van de *New Scientist* is thans als Europees redacteur verbonden aan *The Scientist*. Bernard Dixon is Vice-President van de British Association for the Advancement of Science en auteur van een serie bekende boeken, zoals *Health and the Human Body*, *Beyond the Magic Bullet*, *Invisible Allies*, en *What is Science for?*

**Theo Martens** (1928), is meer dan 25 jaar hoofdredacteur en uitgever van *Natuur & Techniek*. Hij kreeg in 1983 de LOF-Prijs, een Nederlandse Persprijs voor het best verzorgde tijdschrift, alsmede in 1984 de Belgische Larousse Medaille. In 1987 ontving hij een Koninklijke onderscheiding voor zijn jarenlange bijdrage aan de communicatie tussen wetenschap en samenleving.







**FOUNDATION  
SCIENTIFIC  
EUROPE**

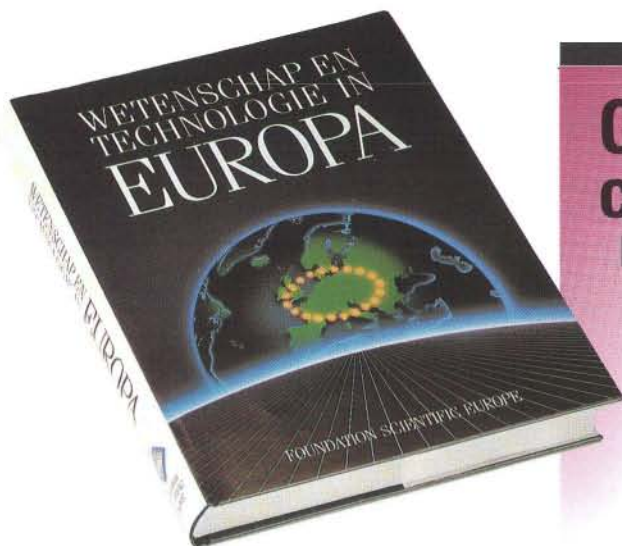


Met de bedoeling een Europese identiteit te creëren, werkt de FOUNDATION SCIENTIFIC EUROPE aan een ambitieus activiteitenprogramma, waaronder een Europees tijdschrift, een Europees netwerk van informatiecentra op het gebied van wetenschap en technologie en de productie van EURO-TV-programma's over wetenschappelijke en industriële ontwikkelingen. Een op te richten Europese Associatie voor de Bevordering van Wetenschap zou allen die geïnteresseerd zijn in wetenschap en technologie een ontmoetingsplaats moeten verschaffen. Iedere vijf jaar, voor het eerst in 1992, komt er een grootscheeps festival, telkens in een andere Europese stad.

Als eerste 'platform'-project van de Stichting verschijnt eind november aanstaande - in zes talenedities, met een totale oplage van bijna 100.000 exemplaren - het boek **WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN EUROPA**. Het heeft Europa zelf als thema. Meer dan tachtig specialisten werkten aan het boek mee. De Nederlandse editie wordt uitgegeven door Natuur & Techniek. Met enige trots kondigen wij op de pagina's hierna de verschijning van dit ambitieuze project aan. De abonnees van ons tijdschrift zijn de eersten die op dit schitterende **EUROPA BOEK** kunnen intekenen, tegen een zeer speciale introductie-korting.

De Franse Minister van Wetenschap en Technologie, Prof. dr. Hubert Curien (foto rechtsboven), met zijn Nederlandse collega oud-Minister Deetman, tijdens de oprichtingsvergadering van de Foundation Scientific Europe, op 10 september 1988 in Maastricht (foto hierboven).

## Een droom wordt werkelijkheid



## Op reis door een creatief continent

Een fascinerende blik  
in de wereld van  
vooraanstaande  
wetenschappers  
en technologen  
in het Europa  
van morgen

**E**uropa, de bakermat van de moderne wetenschap, staat aan de vooravond van een nieuw wetenschappelijk tijdperk. De continue stroom van ideeën, uitvindingen en doorbraken zal Europa in de 90-er jaren wederom doen vooruitlopen op het gebied van revolutionaire research in wetenschap en technologie. Creativiteit en innovatie zullen geen grenzen meer kennen in het Europa van morgen, een continent dat thans reeds meer laboratoria telt dan kastelen, paleizen en kunstmusea.

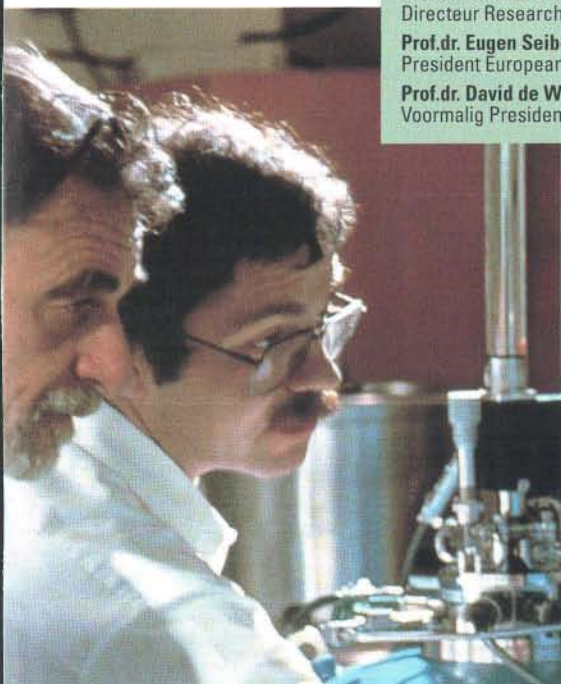
U kunt deze fascinerende ontwikkelingen zelf meebeleven in het schitterende boek **WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN EUROPA**. In meer dan 512 pagina's geeft dit boek U een compleet overzicht van de wetenschappelijke en technologische kennis op een creatief continent. Op een groot formaat van 24 x 30 cm, met bijna 1500(!) briljante kleurafbeeldingen.



Belangrijke ontdekkingen bij hersenonderzoek (uiterst links) door Zweedse geleerden dragen bij tot grote vooruitgang op medisch en psychologisch gebied. Duitse sterrenkundigen dringen door tot nieuwe sterrenstelsels met 's werelds grootste draaibare radiotelescoop vlakbij Bonn (links). Daarmee wordt een lange historische ontdekkingsreis naar de oorsprong van het heelal, die de oude Grieken al intrigeerde, door Europese wetenschappers gecontinueerd.



Wij staren ons soms blind op Japan en de Verenigde Staten en hebben te weinig oog voor ons eigen continent. Toen Alex Müller en Georg Bednorz, twee Europese onderzoekers in 1986 in een laboratorium in Zwitserland (foto hieronder) de opzienbarende ontdekking deden dat keramisch materiaal bij relatief hoge temperatuur supergeleidend werd, waren Amerikaanse journalisten de eersten die over deze ontdekking publiceerden. Hun Europese collega's werden pas later door die publikaties op het spoor van de Zwitsers gezet...



## Acht prominenten uit verschillende landen zijn de oprichters van de FOUNDATION SCIENTIFIC EUROPE;

**Mr. Andries A.M. van Agt**, Washington  
Ambassadeur van de EEG in de Verenigde Staten  
Voormalig Minister-President van Nederland

**Sir Walter Bodmer**, Londen  
President van de British Association for the Advancement of Science  
Research Director, Imperial Cancer Research Fund Laboratories

**Prof.dr. Hubert Curien**, Parijs  
Minister van Wetenschap en Technologie in Frankrijk

**Dr. Johan Kremers**, Maastricht  
(Oud-)Commissaris van H.M. de Koningin in Limburg  
Oud-Voorzitter van de Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid

**Mr. Christian Lenzer**, Bonn  
Voorzitter, Commissie voor Wetenschap en Technologie  
Raad van Europa, Parlementaire Assemblée

**Prof.dr. Giancarlo Schileo**, Rome  
Directeur Research en Ontwikkeling ENEA, Italië

**Prof.dr. Eugen Seibold**, Freiburg  
President European Science Foundation, Strasbourg

**Prof.dr. David de Wied**, Utrecht  
Voormalig President Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen

Basisonderzoek en industriële technologie komen samen in een Belgische studie naar een betere microchip (linksonder) en in Engelse vacuumsystemen (rechtsonder) voor oppervlakte-onderzoek van nieuwe materialen.



WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN EUROPA verschijnt onder auspiciën van de FOUNDATION SCIENTIFIC EUROPE. Het is het eerste Europa boek over ons wetenschappelijk en technisch kunnen. Jarenlang werd eraan gewerkt door een internationale groep van meer dan tachtig vooraanstaande wetenschappers,

industriëlen en politici uit de twintig landen van de Raad van Europa, onder eindredactie van de bekende Engelse wetenschapsjournalist Nigel Calder. Het project stond onder leiding van Theo Martens, die met een bekwame staf van medewerkers bij Natuur en Techniek de illustratieresearch verzorgde.

# Ontdek de onstuitbare kracht van wetenschap en technologie in Europa





In een Grieks laboratorium (uiterst links) is men op zoek naar nieuwe produkten uit olijfolie. Dit werk is een onderdeel van een groot onderzoekproject van de EG. Een goed voorbeeld van multinationale samenwerking op wetenschappelijk gebied; zo belangrijk voor de toekomst van heel Europa.

Philips in Eindhoven (links) speelt een leidende rol in de ontwikkeling van standaarden voor een Integrated Services Digital Network (ISDN), dat de basis zal vormen voor een Europees netwerk van telecommunicatiesystemen in de nabije toekomst.

## HET EUROPABOEK

verschijnt op 15 november a.s. Formaat 24 x 30 cm. 508 pagina's met 1482 afbeeldingen. Geheel in vierkleuren-druk. Gebonden in linnen band met stofomslag. Prijs fl 175,-. Voor onze abonnees: fl 125,- (excl. fl 8,50 verzendkosten). Betaalbaar in 2 termijnen.

## In het voetspoor van Galileo

Wetenschap en technologie zijn op ons continent in beweging, in een tempo dat veel hoger ligt, dan menigene zich realiseert. WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN EUROPA stelt U dan ook in staat kennis te nemen van de dynamische ontwikkelingen en ontdekkingen in het Europa van de 90-jaren. WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN EUROPA zorgt ervoor dat U geen enkele van deze ontwikkelingen hoeft te missen:

Zweeftreinen, ontworpen voor de 21ste eeuw, bereiken reeds snelheden tot 400 km/uur in Duitsland. De nieuwe Large Electron-Positron-Collider (LEP) van de CERN in Genève is al bijna in staat het allereerste moment van het ontstaan van ons Universum na te bootsen. Een gezamenlijk initiatief van Zwitserse en Nederlandse wetenschappers zal binnenkort leiden tot de ontwikkeling van een wegwerp-sonde, die in staat is het menselijk lichaam inwendig nauwkeurig te onderzoeken.

De 4-GHz-antenne, waarmee signalen van de Franse Telecom-satellieten naar vrijwel de halve aardbol kunnen worden uitgezonden.



## DEEL 7

# IN NAVOLGING VAN PASTEUR

Het AIDS-virus, microbische antilichamen, chemische verbindingen die de activiteit van zenuwcellen beïnvloeden... in medisch onderzoek en mensen- en gedragsstudies levert Europa een uitstekend werk.

## VERBINDINGEN VOOR EEN CONTINENT

In het intensieve telecommunicatieproject van de Europese Unie is een belangrijk rol weggelegd voor satellieten en optische vezels.

De Europese Unie heeft een ambitieus programma opgesteld om de telecommunicatie in Europa te verbeteren. Dit programma is gericht op de ontwikkeling van nieuwe technologieën en op de verbetering van de infrastructuur. Het programma is een belangrijk onderdeel van de Europese strategie voor de toekomst.

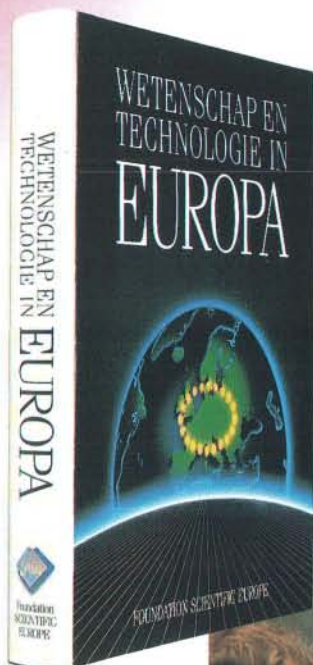
## EUREKA: KLIJEN NAAR TOEKOMSTIGE MARKTEN

Eureka is een internationaal samenwerkingsverband van landen die zich inzetten voor de ontwikkeling van nieuwe technologieën. Het doel is om de innovatiekracht van de deelnemende landen te bundelen en zo de concurrentiepositie van Europa te versterken. Het programma is een belangrijk onderdeel van de Europese strategie voor de toekomst.

De Europese Unie heeft een ambitieus programma opgesteld om de telecommunicatie in Europa te verbeteren. Dit programma is gericht op de ontwikkeling van nieuwe technologieën en op de verbetering van de infrastructuur. Het programma is een belangrijk onderdeel van de Europese strategie voor de toekomst.

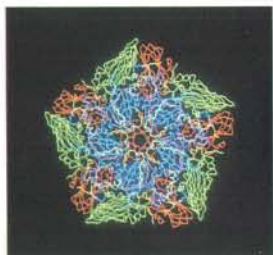


# Ontdek zelf hoe Europa vooruitloopt in wetenschap en technologie



## Samen denken

Of uw nieuwsgierigheid nu uitgaat naar 'het zwarte gat' in de kosmos of naar auto's die te intelligent zijn om tegen elkaar te botsen, U zult getuige kunnen zijn van de verbazingwekkende vooruitgang die Europa's meest vooraanstaande wetenschapsmensen op allerlei terreinen hebben geboekt. Zowel op het gebied van robotica, erfelijkheidsleer als de exploitatie van de ruimte; alsmede aan de hand van talloze voorbeelden van vaak gezamenlijk onderzoek uit maar liefst twintig Europese landen. U zult kennis kunnen nemen van de bijdragen van Nobelprijswinnaars. En van meer dan tachtig vooraanstaande Europese wetenschappers, mannen en vrouwen, die grensoverschrijdend werk verrichten.



Onderzoek in Groot-Brittannië aan het mond- en klauwzeer-virus (links) leidt ons dichterbij de ontwikkeling van een nieuw vaccin. Spaanse, Britse en Franse microbiologen (rechts) werken nauw samen in het biotechnologie-programma van de EG.

De bundeling van hun kennis en ervaringen heeft geleid tot een uitermate boeiende expertise over een breed scala van onderwerpen, van prehistorie tot supercomputers en biotechnologie in industrie en landbouw.

Ontdek hoe Europese wetenschapsmensen en ingenieurs het voortouw hebben genomen in de hoge-energie fysica, de sterrenkunde en de vliegtuigbouw. Lees een Italiaanse bijdrage over de ontdekking van de elementaire deeltjes Z en W, die de sleutel vormen tot nog meer ontdekkingen. En volg de Zweedse profeet Bert Bolin bij zijn inspanningen die hebben geleid tot de voorspelling van het broeikaseffect. Ontdek ook hoe de Engelse ontwerper van de transputer tot zijn uitvinding kwam.



# Bestel nu dit fascinerende boek en bespaar fl 50,-

**E**en unieke aanbieding... voor een speciale introductieprijs! Maak nu gebruik van de eenmalige gelegenheid een exemplaar van **WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN EUROPA** te reserveren met een aanzienlijke introductiekorting. U wordt daarmee de trotse bezitter van het eerste standaardwerk over Europa's technisch en wetenschappelijk kunnen. Nooit eerder gaf een boek een zo indrukwekkend technologisch overzicht, nooit eerder bracht een boek zoveel wetenschappelijk talent bijeen. Uw kennis krijgt met dit boek een geheel nieuwe dimensie. Gebruik het bij dit nummer ingesloten overschrijvingsformulier\* en U ontvangt het standaardwerk **WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN EUROPA** tegen de speciale introductieprijs van fl 125,-. U bespaart daarmee maar liefst fl 50,- op de normale boekhandelprijs van fl 175,-.

\* Uw betaling kan hiermede in twee termijnen geschieden. Na ontvangst van Uw eerste betaling wordt U het boek begin december a.s. in een stevige cartonnen verzenddoos toegesonden. Betaling van de tweede termijn kan daarna binnen dertig dagen geschieden. Voor verzendkosten (het boek weegt bijna 3 kg.) wordt fl 8,50 extra in rekening gebracht.



De Spider, een kruising tussen een duikpak en een éénpersoons onderzeeboot, is een voorbeeld van Europese onderwatertechnologie die wereldwijd wordt toegepast.



De grote Noorse handelsvloot maakt op uitgebreide schaal gebruik van het satellietstelsel van Inmarsat. Daarmee beschikt Europa over een uitstekend navigatiesysteem voor de scheepvaart. Denemarken, Finland, IJsland, Noorwegen en Zweden behoren het samen.

Wij weten allen dat ons land de toon aangeeft op het gebied van de agrarische wetenschap. Maar dat een belangrijke ontwikkeling van efficiënte brandstofcellen, die wel eens van cruciaal belang kan zijn voor de Europese energievoorziening, uit Oostenrijk komt, is volkomen onbekend. En dat geldt al evenzeer voor de leidende Engelse rol op het gebied van moleculaire biologie, de vergaande ontwikkeling van supergeleiders in



Zwitserland, de preventiemaatregelen tegen aardbevingen in Griekenland en de Zweedse vindingen op het gebied van industriële robots. Door de lezers in vele landen mee te nemen, op reis langs een groot aantal uitstekende voorbeelden van Europees onderzoek, hopen de makers van **WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN EUROPA** een bijdrage te kunnen leveren aan Europa's zelfbewustzijn van haar eigen technisch en wetenschappelijk kunnen.

Een microchip-fabriek in Italië, met Frans kapitaal neergezet en samenwerkend met Duitse en Nederlandse partners in het JESSI-project. De samenwerking in de hightech-industrie in het kader van EUREKA, geeft aan dat een wetenschappelijk verenigd Europa geen utopie meer is, maar werkelijkheid.



# Briljante geleerden denken Europees

Wat maakt Europa in de 90-er jaren tot het potentieel sterkste continent?  
Lees het zelf in **WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN EUROPA!**  
Nog nooit bracht één boek zoveel informatie en talent bijeen.

## De auteurs van het eerste Europaboek

### INTRODUKTIE

*Prof. David de Wied, Nederland*  
*Prof. Eugen Seibold, Duitsland*

### EUROPA IN BEWEGING

*Dr. Umberto Agnelli, Italië*  
*Jean Pierson, Frankrijk*  
*Prof. Hartwig Steusloff en*  
*Dr. Dirk Heger, Duitsland*  
*Prof. Bernd Hoefflinger, Duitsland*  
*Maurizio Cavagnaro, Italië*  
*Arne Sagen, Noorwegen*  
*Jean-Louis Michel, Frankrijk*  
*José Manuel Poudereux, Spanje*  
*Roger Chevalier, Frankrijk*  
*Prof. Reimar Lüst, Duitsland*

### DE HANDEN INEEN

*Christian Lenzer, Duitsland*  
*Prof. Christopher Freeman, Groot-Brittannië*  
*Prof. Hubert Curien, Frankrijk*  
*Filippo Maria Pandolfi, E.E.G.*  
*Prof. Antonio La Pergola, Italië*  
*Dr. H.L. Beckers, Nederland*  
*Dr. Michael Posner, Groot-Brittannië*  
*Margaret King, Groot-Brittannië*

### UIT EEN VER VERLEDEN

*Prof. Knut Heier, Noorwegen*  
*Prof. Asger Berthelsen, Denemarken*  
*A.M. Celâl Sengör, Turkije*  
*Prof. Stephan Mueller, Zwitserland*  
*Prof. Kenneth J. Hsü, Zwitserland*  
*Prof. Corrie Bakels, Nederland*  
*Prof. Jens Lüning, Duitsland*  
*Prof. Borislav Jovanović, Joegoslavië*  
*Prof. Pierre-Roland Giot, Frankrijk*  
*Prof. Hermann Flohn, Duitsland*

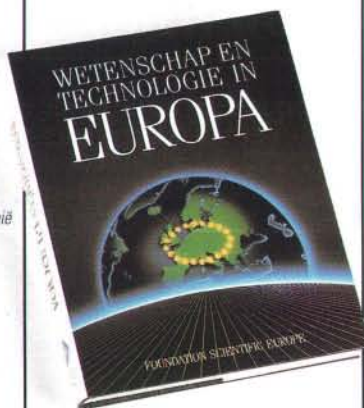
### OOG VOOR ONZE PLANEET

*Prof. Ernst U. von Weizsäcker, Duitsland*  
*Prof. Bert Bolin, Zweden*

*Prof. Paul Crutzen, Nederland*  
*Dr. Lennart Bengtsson, Zweden*  
*Dr. Georges Fraysse, Frankrijk*  
*Prof. Cornelis T. de Wit, Nederland*  
*Dr. Bernhard Prinz, Duitsland*  
*Prof. Gotthilf Hempel, Duitsland*  
*John Sbokos, Griekenland*

### SPEUREN NAAR ENERGIE

*Prof. Umberto Colombo, Italië*  
*Don Lennard, Groot-Brittannië*  
*Dr. Georges Vendryes, Frankrijk*



*Dr. Gerhard Zankl en*  
*Prof. Klaus Pinkau, Duitsland*  
*Dr. Niels E. Busch, Denemarken*  
*Jens Tómasson, IJsland*  
*Prof. Karl Kordes, Oostenrijk*  
*Prof. Sir Nevill Mott, Groot-Brittannië*

### GEAVANCEERDE SYSTEMEN

*Dr. Wisse Dekker, Nederland*  
*Prof. Francesco Carassa, Italië*  
*Gijs Bouwhuis, Nederland*  
*René Steichen, Luxemburg*  
*Iann Barron, Groot-Brittannië*  
*Michel Carpentier, E.E.G.*

*Prof. Roger J. Van Overstraeten, België*  
*Prof. Clifford B. Jones, Groot-Brittannië*  
*Prof. Teuvo Kohonen, Finland*  
*Prof. Luigi A. Lugiato, Italië en*  
*Prof. S. Desmond Smith, Groot-Brittannië*  
*Eric Hardegård, Zweden*  
*Jean-Loup Rouyer, Frankrijk*

### IN NAVOLGING VAN PASTEUR

*Sir Arnold Burgen, Groot-Brittannië*  
*Prof. Alberto Piazza, Italië*  
*Prof. Karol Sikora, Groot-Brittannië*  
*Dr. Karl Heusler, Zwitserland*  
*Prof. Marc Girard, Frankrijk*  
*Prof. Luc Montagnier, Frankrijk*  
*Prof. John Mallard, Groot-Brittannië*  
*Prof. Sten Grillner, Zweden*  
*Prof. Hanus Papousek en*  
*Dr. Mechthild Papousek, Duitsland*

### GRIP OP HET LEVEN

*Dr. Max Perutz, Groot-Brittannië*  
*Prof. Kai Simons, Finland*  
*Prof. Antonio Garcia-Bellido, Spanje*  
*Prof. Werner Arber, Zwitserland*  
*Prof. Robert Huber, Duitsland*  
*Mark Cantley, E.E.G.*  
*Prof. Alan R. Fersht, Groot-Brittannië*  
*Prof. Dervilla M.X. Donnelly, Ierland*  
*Dr. Sabine Meinecke-Tillmann, Duitsland*  
*Dr. Carlos José Rodrigues Jr., Portugal*  
*Prof. Yves Demarly, Frankrijk*  
*Prof. Marc Van Montagu, België*

### IN DE VOETSPOREN VAN GALILEI

*Prof. Léon Van Hove, België*  
*Prof. Carlo Rubbia, Italië*  
*Prof. Egil Lillestøl, Noorwegen*  
*Dr. Giorgio Brianti, Italië*  
*Dr. Ian Corbett, Groot-Brittannië*  
*Prof. Etienne Guyon, Frankrijk*  
*Prof. Harry van der Laan, Nederland*  
*Prof. Martin Rees, Groot-Brittannië*



## DE COMMISSIE VAN DE EUROPESE GEMEENSCHAPPEN

organiseert voor het **Gemeenschappelijk Centrum voor Onderzoek** te Brussel een selectieprocedure voor de vorming van een aanwervingsreserve van tijdelijke functionarissen in de rang A4 (aanstelling gebeurt op basis van contracten voor bepaalde tijd) op het gebied van

## MARKETING

COM/R/A/63 (rang A4)

Wetenschappelijk hoofdamtbenaar

In het raam van zijn betrachtingen om de omvang van zijn onderzoeksactiviteiten verbonden aan de industrie uit te breiden, heeft het **Gemeenschappelijk Centrum voor Onderzoek (GCO)** deze belangrijke marketing-coördinatiefunctie gecreëerd. De geselecteerde persoon zal in ruime mate bijdragen tot de identificatie en definitie van nieuwe activiteitsgebieden en tot de evaluatie van de overeenkomstige markten. Hij / zij zal tevens helpen bij het ontwikkelen van marketing-strategieën en zal nauw samenwerken met de instituten van het GCO teneinde de globale samenhang van hun verschillende benaderingen te vrijwaren.

Wij zoeken een getalenteerd persoon met een academische vorming in overeenstemming met dit jobprofiel. Een ruime beroepservaring op het gebied van de betrekkingen tussen de openbare en industriële sectoren wordt vereist evenals een goede beheersing van E.G.-talen.

Kandidaten moeten beschikken over minstens 15 jaar beroepservaring.

### Algemene voorwaarden:

**Nationaliteit:** onderdaan zijn van één van de Lid-Staten van de E.G.

**Standplaats:** Gemeenschappelijk Centrum voor Onderzoek - Brussel (België).

**Leeftijd:** ten hoogste 50 jaar zijn.

De Commissie beleeft een politiek van gelijkheid van kansen tussen mannen en vrouwen.

Kandidaturen van ambtenaren van Europese instellingen zijn niet ontvankelijk.

**Talenkennis:** een grondige kennis bezitten van één van de talen van de Gemeenschap (Deens, Nederlands, Engels, Frans, Duits, Italiaans, Portugees, Spaans, Grieks) en een voldoende kennis van een tweede taal der Gemeenschap.

**Uiterste datum:** sollicitatieformulieren moeten bij voorkeur schriftelijk worden aangevraagd bij: C.E.C., secretariaat van de Selectiecomités voor Onderzoek, SDME R2 / 54, Montoyerstraat 75, B-1049 Brussel, België. (Tel.: 02 / 235.56.60 - Telefax: 02 / 236.30.25). **Deze formulieren dienen vóór 15.11.1990, naar behoren ingevuld en ondertekend, op bovenstaand adres te worden ingeleverd.**

## AUTEURS

**Drs ing W.J. Netto** ('Hondengedrag') is geboren in Arnhem op 10 augustus 1941. Hij studeerde biologie aan de landbouwschool in Ede en aan de RU Utrecht. Hij was docent aan diverse scholen voor middelbaar- en beroepsonderwijs en is sinds 1970 wetenschappelijk hoofdmedewerker en docent aan de Utrechtse universiteit. Hij onderzoekt het gedrag van Java-ape, honden, katten en kippen.

**Dr M.B.H. Schilder** ('Hondengedrag') werd op 12 november 1950 geboren in Kampen. Hij studeerde biologie aan de RU Utrecht, waar hij in maart jl. promoveerde. Sinds 1979 is hij in Utrecht universitair docent. Evenals collega Netto verzorgt hij onderwijs in diergedrag voor studenten diergeneeskunde, biologie en medische biologie.

**Prof dr L. Pepplinkhuizen** ('Ziel en ziekte') werd in 1943 geboren in Leeuwarden. Hij studeerde in Groningen. Van 1975 tot 1989 was hij als psychiater verbonden aan ziekenhuis Dijkzicht in Rotterdam, vanaf 1982 als chef de clinique. Hij promoveerde in 1983. Sinds 1989 is hij hoogleraar biologische psychiatrie aan de Erasmusuniversiteit Rotterdam.

**Dr ir A. Boekestein** ('Cryo-SEM') studeerde scheikundige technologie aan de TU Delft. Van 1975 tot 1980 was hij in dienst van de medische faculteit van de KU Nijmegen. Hij promoveerde er in 1984. Momenteel is hij afdelingshoofd elektronenmicroscopie van TFDL in Wageningen. Boekestein werd op 23 december 1951 in Naaldwijk geboren.

**Ing S. Henstra** ('Cryo-SEM') werd in 1931 in Arnhem geboren. Hij studeerde elektrotechniek aan de HTS 'Amsterdam'. In 1954 trad hij in dienst van de LU Wageningen. Thans is hij werkzaam bij TFDL en houdt hij zich bezig met onderzoek naar de toepassing van elektronenmicroscopie en microchemische analyse in het landbouwkundig onderzoek.

**Prof dr J.A.M. van den Biggelaar** ('Embryologie') is geboren in Veghel, op 17 november 1934. Hij studeerde van 1953 tot 1961 biologie aan de RU Utrecht, waar hij in 1979 promoveerde. Sinds zijn studie is hij medewerker van de vakgroep Experimentele Dierkunde in Utrecht, momenteel als hoogleraar.

**Dr F. Serras** ('Embryologie') is geboren in Mataro, Spanje, op 15 september 1958. Hij studeerde van 1975 tot 1982 Biologie aan de universiteit van Barcelona. In 1984 kwam hij naar Nederland en werd medewerker van de vakgroep Experimentele Dierkunde aan de RU Utrecht. Hij promoveerde aldaar in 1989.

**Prof dr C.J.E. Schuurmans** ('Zonnevlekken') is in 1934 op Eerste Kerstdag in Mill geboren. Hij studeerde sterrenkunde, natuurkunde en meteorologie aan de RU Utrecht en promoveerde daar in 1969. In 1963 trad hij in dienst van het KNMI; hij is er nu adjunct-directeur wetenschappelijk onderzoek. Vanaf 1974 is hij tevens verbonden aan de RU Utrecht, sinds 1979 als hoogleraar meteorologie.



## Basiskennis

---

In dit nummer treft men de eerste aan van een reeks – uitneembare – katernen waarin basisinformatie wordt verstrekt op een bepaald vakgebied. Tot aan de volgende zomervakantie zal er in elk nummer een dergelijk katern zijn opgenomen. Deze keer vindt men een inleidend artikel over radioactiviteit; in volgende afleveringen komen menselijke genetica, het ontstaan van elementen, de structuur van de aarde, kanker, quantumfysica en nog een aantal andere gebieden aan de orde.

Het doel van deze katernen is driedig. In de eerste plaats zullen ze voor de meeste lezers een opfrissertje betekenen. Iedereen heeft wel eens de hinderlijke ervaring: 'dat heb ik ooit geweten, hoe zat dat ook alweer?', vooral bij het lezen van artikelen buiten het eigen vakgebied of bij het beoordelen van bijvoorbeeld nieuwsberichten. Deze reeks is bedoeld als remedie in die situatie.

In de tweede plaats kunnen deze katernen fungeren in het onderwijs, vooral als algemene inleiding in een vakgebied. De katernen zullen dan ook als overdrukken beschikbaar zijn.

Ten slotte kunnen deze artikelen, die allemaal zijn opgebouwd 'uit het niets', dat wil zeggen die hoegenaamd geen voorkennis vooronderstellen, van groot belang zijn voor al diegenen die in een positie verkeren waarin ze besluiten moeten nemen: politici, managers, gemeenteraadsleden. Het komt heel vaak voor dat zulke functionarissen moeten beslissen op zo sterk uiteenlopende gebieden, dat het onmogelijk is dat ze werkelijk deskundig zijn. In de praktijk is het veelal zelfs ondoenlijk ook maar een begin van begrip te verkrijgen waarover de besluiten nu eigenlijk gaan. Men moet volledig blindvaren op gegevens van deskundigen (die gewoonlijk ook zo hun belangen hebben; meten is één ding, interpretatie en waardering van een meting een heel ander).

Vanzelfsprekend heeft zo'n reeks ook beperkingen. Men mag er niet van verwachten dat de artikelen ons op het niveau van de allerlaatste ontwikkelingen brengen. Overigens wel, dat ze ons voldoende basis verschaffen om redelijk snel inzicht te verwerven in *the state of the art*.

En niet alle gebieden kunnen met zulke artikelen binnen bereik worden gebracht. In dit nummer vinden we bijvoorbeeld een boeiende bijdrage van Peplinkhuizen over biologische psychiatrie, waaruit naar voren komt dat een flink aantal, voor deskundigen goed te onderscheiden psychische afwijkingen met slechts twee preparaten te bestrijden zijn. De suggestie dat de hele diagnostiek op weinig begrip stoelt ligt voor de hand, maar is voorbarig. Dat er behoefte is aan nieuwe theorievorming lijkt evenwel evident. In zo'n situatie is een artikel met basisinformatie nog niet mogelijk.

---





# ► DE AARD VAN

## *een hond in een mensenroedel*

Onze meest populaire huisdieren, de hond en de kat, stammen af van roofdieren. Een 'roofdier' in de huiskamer, levert dat geen problemen op? Meestal niet gelukkig, hoewel we de laatste tijd steeds vaker worden geconfronteerd met problemen die voortvloeien uit het gedrag van honden. En dat betreft helaas niet alleen het agressieve gedrag van Pit-bulteriërs. Blaffen, grommen en bijten horen nu eenmaal evengoed bij honden als snuffelen en kwispelen.

Honden stammen af van wolven, en hun gedrag is in wezen niet anders dan dat van hun voorouders. Het verschil is dat de mens bij elk ras geselecteerd heeft op gewenste gedragseigenschappen, waardoor de ene hond vooral geschikt is om een territorium te bewaken, de andere om mee te imponeren en een derde voor de jacht.

W.J. Netto

M.B.H. Schilder

Projectgroep Ethologie en Socio-ecologie  
Rijksuniversiteit Utrecht



# HET BEESTJE





Het samenspel van alle bewegingen die een dier uitvoert, lichaamshoudingen die het vertoont, geluiden die het voortbrengt en geuren die het produceert noemen we het gedrag van dat dier. Zowel erfelijke aanleg als omgevingsinvloeden bepalen het gedrag. Voor onze relatie met een hond als huisdier is enig inzicht in beide aspecten erg nuttig. Wat de erfelijke aanleg betreft moeten we dan terug gaan naar het gedrag van de voorouders van de hond, de wolven. Kennis van leerprincipes kan ons helpen begrijpen hoe milieufactoren het gedrag van het dier beïnvloeden.

## Wolven

De meest kenmerkende samenlevingsvorm van wolven is de roedel, een hecht sociaal verband met een duidelijke rangordestructuur. Dankzij een uitgebreid communicatiesysteem waarin de lichaamstaal een belangrijke rol speelt, verlopen regulatie en instandhouding van de rangverhoudingen soepel. Een dominant dier kan imponeren door zich groot te maken: een hoge houding, stram op zijn poten staand, met de staart stijf rechtop en de oren recht naar voren en omhoog gericht. Het ranglage dier maakt zich klein door wat door de poten te zakken, de staart naar beneden of zelfs tussen de achterpoten, de oren plat naar achteren tegen de kop. In deze houding nadert de ondergeschikte wolf een dominante, waarbij hij met zijn snuit naar de mondhoek van de dominant stoot of er naar likt. Dit gedrag, *actieve submissie* genoemd, tempert de agressie van de dominant. Is dat nog niet voldoende, dan gaat het ranglage dier op zijn rug liggen met de staart tussen de poten (*passieve submissie*).

Alle roedelleden streven naar een zo hoog mogelijke rang omdat dat voordelen heeft. Het beste voedsel, de beste slaapplek enzovoort, zijn bijvoorbeeld voor het hoogste dier, met als gevolg dat een ranghoge wolf succesvoller is in de voortplanting dan een ranglage. Ook een hond in een menselijk 'roedel' streeft zo'n hoge positie na. Dat zit in de aard van het beestje, alhoewel dat zeker niet bij alle rassen en individuen even duidelijk herkenbaar is. Een hond begrijpt in elk geval niets van een anti-autoritaire opstelling van de 'baas'. Zodra die zijn dominante positie niet inneemt zal de hond trachten ranghoogste te worden en als dat eenmaal lukt zal hij die positie verdedigen.

Te grote vrijheid voor de hond leidt maar al te vaak tot een lijdensweg voor mens en hond. Nogal eens eindigt die pas als het dier wordt afgemaakt.

Dominantieverhoudingen zijn niet statisch. De mens moet zijn dominante positie blijven onderstrepen. Dit kan net zoals de dieren dat onder elkaar doen door een imponerende (hoge) houding of door een imponerende stem. De bestraffende nekbeet die bij wolven voorkomt, kan worden geïmiteerd met een zogenaamde slipketting, een halsband waarvan de halsopening zich insnoert bij een ruk aan de lijn. In de omgang met een hond zijn beloning en straf erg effectief als ze worden uitgevoerd door een dominante persoon.

## Rassen en gedrag

Door kunstmatige selectie heeft de mens die eigenschappen van de wolf die hij in zijn eigen voordeel kon gebruiken aangescherpt, en andere afgezwakt. Daardoor zijn uit de all-rounder, de wolf, specialisten ontstaan in de vorm van vele honderassen. En hoe sterk honden in hun uiterlijk ook mogen verschillen, de elementen van hun gedrag zijn niet veranderd.





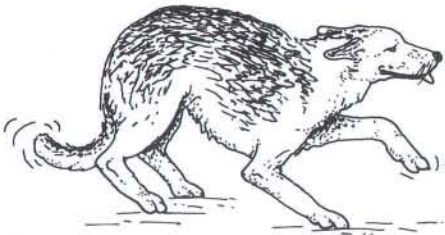


2

1. De houding van een hond zegt veel over zijn 'gemoedstoestand'. Belangrijk zijn de stand van kop, oren, ogen, mondhoeken en staart. Deze dienshond drukt onzekerheid uit.

2. Ranglage wolven of honden temperen de agressie van een ranghoge soortgenoot door onderwerpsgedrag.

3 en 4. Bij actieve submitisie (3) neemt het ranglage dier een ineengedoken houding aan. Het dier likt of stoot naar de mondhoek van het ranghoge dier. Passieve submitisie (4) straalt volledige onderwerping uit.



3



4

Wel is door de domesticatie de drempel voor het vertonen van gedragingen bij de diverse rassen sterk gewijzigd. Daardoor zijn verschillen ontstaan in de frequentie en de intensiteit van bepaalde gedragingen, bijvoorbeeld blaffen. Ook is de situatie waarin een gedrag optreedt vaak veranderd.

Een belangrijk aspect in de verschillen tussen rassen zijn de erfelijk bepaalde *leerpre-disposities*, dat wil zeggen het gemak waarmee de hond een bepaald gedrag kan aanleren of afleren. Zo zijn bijvoorbeeld de berghonden die de kudde moesten verdedigen tegen roofdieren, de vechthonden en de erfhonden in het algemeen zelfstandige honden, die op een wat eigengereide manier hun gang gaan en zich minder gemakkelijk naar de wil van hun baas schikken. Ze zijn vooral geselecteerd op aanvalsbereidheid.

Duidelijk anders ligt dit bij de herdershonden en de schepers. Deze zijn zowel geselecteerd op eigenschappen die ze geschikt maken om vee te hoeden, als op het gemak waarmee

ze zijn te trainen. Het is dan ook niet verwonderlijk dat de Duitse herder tegenwoordig voor zoveel functies wordt opgeleid: blindengeleidehond, politiehond, lawinehond of drugshond.

De grootste variëteit aan rassen vinden we bij de lopende en staande jachthonden, waarvan vele voor verschillende taken zijn gefokt. Bekende vertegenwoordigers zijn de Labrador en de Golden retriever. Deze honden zijn speciaal gefokt voor het apporteren van het door de jager geschoten wild. Ze zijn zeer op de mens gericht; dat moet ook wel want ze moeten het commando van de jager afwachten, om op zijn aanwijzing het wild op te sporen. Deze honden laten zich gemakkelijk africhten. Ze hebben, zoals men dat noemt, *will to please*. Deze eigenschappen maken ze zeer geschikt als huishond, maar ook als blindengeleidehond.

Verschillende rassen vertonen dus een grote variatie in erfelijke aanleg voor het leren van een bepaald gedrag. Wie een hond als huishond wil, moet het ras dan ook weloverwogen kiezen. Hij schaft immers voor ongeveer tien jaar



5

een nieuw 'gezinslid' aan; het karakter daarvan moet aansluiten bij de leefgewoonten van de 'baas' en het gezin.

### Socialisatie

Naast erfelijke aanleg bepalen voor een belangrijk deel ook de vroege jeugdervaringen van een hond in hoeverre het dier zal passen in een mensenroedel. De belangrijkste periode voor de gedragsontwikkeling van de hond is de zogenaamde *primaire socialisatiefase*, van het begin van de vierde tot de dertiende week. Dan leren de pups hun soortgenoten herkennen, en in het geval ze met mensen moeten samenleven, moeten ze ook die dan leren kennen. De meest gevoelige periode voor het vormen van een band met anderen is de periode waarin de hond circa vier tot negen weken oud is. Hebben de jonge honden onvoldoende contact gehad met mensen, dan blijven ze ook op latere leeftijd mensenschuw. Deze schuwheid is later slechts met zeer grote moeite te verminderen.

Ditzelfde geldt voor schrikachtigheid voor vreemde prikkels en situaties indien de hond in de jeugd te weinig heeft meegemaakt. Na zeven weken zien we al dat een hond steeds aarzelender reageert op veranderingen in zijn omgeving. De pup moet daarom opgroeien in een milieu dat rijk is aan prikkels en variatie. Dat verkleint de kans dat de hond op latere leeftijd angst zal vertonen.

Na de primaire socialisatie moet de pup voldoende contact blijven houden met honden en mensen gedurende de *secundaire socialisatie*, die loopt van dertien weken tot zes maanden. Een juiste behandeling in de vroege jeugd is de beste methode om ongewenst gedrag op latere leeftijd te voorkomen en schept een goede uitgangssituatie voor later leergedrag.

### Leerprincipes

Zoals bij de meeste hogere diersoorten zijn ook bij honden enkele leerprincipes van groot belang. Ondanks het feit dat er nogal wat dis-



6. Ruiken is voor een hond net zo belangrijk als zien voor ons. Honden die elkaar tegenkomen zullen elkaar dan ook steeds besnuffelen.

5, 7 en 8. Honderassen zijn geselecteerd op allerlei eigenschappen die de mens van pas kwamen. Apporterende jachthonden (5, Golden retriever) zijn werklustig en sterk op hun baas gericht. Vechthonden (7, Mastino napoletano) hebben een hoge aanvalsbereidheid en berghonden (8, Kuvasz) zijn erg zelfstandig.



6



7



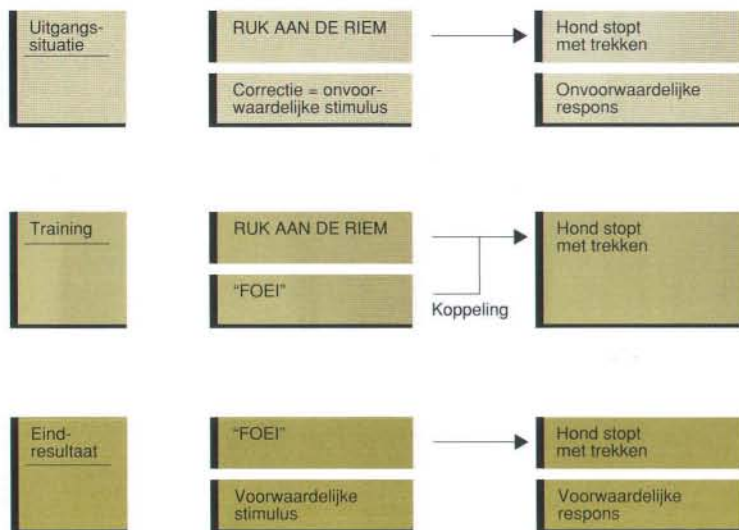
8

cussie is over de vraag of er wel wezenlijke verschillen bestaan tussen de principes, zullen we de belangrijkste toch afzonderlijk bespreken. Het eerste is de zogenaamde *klassieke conditionering*.

Het principe van klassieke (Pavlovianse) conditionering is dat er een koppeling tot stand komt tussen een prikkel die een vaste respons oproept en een geheel nieuwe prikkel, die vervolgens dezelfde respons op kan roepen. Pavlov ontdekte dat een hond die herhaaldelijk een belgeluid (*voorwaardelijke stimulus*) hoort en daarbij vleespoeder (*onvoorwaardelijke stimulus*) krijgt aangeboden, na verloop van tijd ook bij alleen het belgeluid begint te kwijlen (*onvoorwaardelijke respons*).

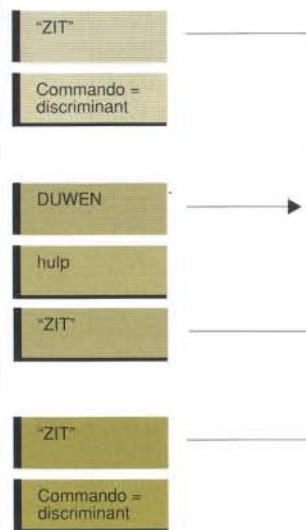
Hoe dit principe ook in onze relatie met een hond kan worden toegepast mag blijken uit het volgende voorbeeld. Op zich betekent het woord "braaf" voor een jonge hond niets. Aaien geeft de hond een plezierig gevoel. Als de hond tijdens het aaien steeds "braaf" te horen krijgt, gaat hij aaien verbinden met de prikkel "braaf". Uiteindelijk krijgt de hond ook een plezierig gevoel als hij alleen "braaf" hoort zeggen. De voorwaardelijke stimulus is nu in staat zelf een prettig gevoel op te roepen. Op dezelfde manier kan door koppeling aan een onaangename prikkel, bijvoorbeeld een ruk aan de riem, "foei" een onaangename prikkel worden. (Zie afbeelding 9.)

## KLASSIEKE CONDITIONERING



9

## OPERANTE CONDITIONERING



10

Het tweede leerprincipe is de instrumentele of *operante conditionering*. De essentie ervan is dat het mogelijk is de frequentie van een bepaald gedrag, de *operant*, te beïnvloeden door het gedrag te koppelen aan een aangename of onaangename consequentie. Dit kan met vrijwel elk gedrag. Als we willen dat een bepaald gedrag op een bepaald moment optreedt kunnen we het koppelen aan een commando, de *discriminant*.

**Belonen**

We zullen dit toelichten aan de hand van een techniek om de hond te leren zitten op bevel (afb. 10). We zorgen allereerst voor een omgeving zonder afleidende prikkels. De hond moet immers aandacht hebben voor de baas. Dan wordt de hond met zachte dwang in de zithouding gemanipuleerd door met de hand op de achterhand van het dier te duwen (*hulp*), terwijl gelijktijdig het woord "zit" wordt uitgesproken. Als de hond gaat zitten dan volgt direct een beloning (*bekrachtiger*): voer, een aai of "braaf". Op deze wijze leert de hond dat het commando "zit" hoort bij de operant zitten. Bij een te late beloning zal de hond het gewenste gedrag bij het commando "zit" niet met de aangename gewaarwording associëren. Een hulp is een truc die de kans vergroot dat

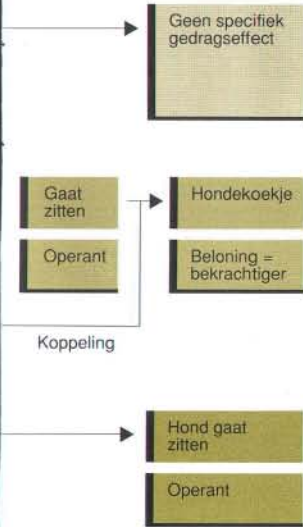
het gewenste gedrag optreedt. Zo'n truc schept vaker de mogelijkheid om te belonen, wat het leerproces bevordert. Het commando zelf dient als discriminant, waardoor de hond het gedrag zitten niet verwacht met een ander gedrag.

In de *aanleerfase* van een gedrag moeten we de eisen niet te hoog stellen. Elk gedrag dat lijkt op zitten zoals we dat willen hebben, wordt beloond. Als de hond eenmaal op commando gaat zitten kunnen we de eisen voor een beloning opvoeren. Dit stapsgewijs naar het einddoel werken (*shaping*) is de effectiefste methode om de hond iets te leren. In de *be-*



12





9, 10 en 11. Klassieke en operante conditionering zijn de belangrijkste principes om een hond wat te leren. Via operante conditionering kan een hond met wat hulp op commando leren zitten (11). De beloning daarvoor, een hondekoekje, kan via klassieke conditionering vervangen worden door "braaf".

12, 13 en 14. Wie een goede rangorde tussen zichzelf en zijn hond wil opbouwen, mag van z'n pup niet dulden dat die hem bijt. Een kneep in de nek is een passende, hondse straf. De pup reageert onmiddellijk en neemt de passieve-submissiehouding aan.



11

heersingsfase moeten we het gedrag in stand houden. Af en toe en op onvoorspelbare momenten belonen is daarvoor de beste manier. Als we de beloning helemaal achterwege laten verdwijnt de associatie tussen commando en gedrag (extinctie).

Belonen om daarmee het optreden van een gedrag te bevorderen, kan op allerlei manieren. Men kan de hond een aangename prikkel geven, maar ook de opluchting als een verwachte, onaangename prikkel niet optreedt is een beloning. Zo werkt inconsequent afstraffen van het op de bank liggen juist dit gedrag in de hand.

Vaak beseft men niet dat men een bepaald gedrag belooft. Een hond die bang is voor onweer wordt vaak getroost door aanhalen. Dit is een beloning die het angstgedrag, dat juist aan het aanhalen vooraf ging, bekrachtigt. Een ander voorbeeld is de hond die blaft of piept als hij alleen wordt gelaten. Vaak reageert de baas daarop door naar de hond te gaan en die bestraffend toe te spreken. Hij heft daarmee de bestaande onaangename situatie op – de hond is niet langer alleen – en dat werkt vaak als een krachtige beloning voor het blaffen. Deze handelwijze versterkt juist het ongewenste gedrag. Een geheel andere fout



13



14



is het te veelvuldig gebruik van "braaf". Hierdoor treedt een gewenningsproces op dat *habituatie* wordt genoemd en waardoor "braaf" de werking als beloning verliest.

### Straffen

Straffen (in de kynologie spreekt men meestal eufemistisch over correctie) is een vorm van operant conditioneren waarbij de hond leert een gedrag te associëren met een daaropvolgende onplezierige ervaring. Als resultaat daarvan zal de hond het afgestrafte gedrag minder gemakkelijk vertonen. Wat voor belonen geldt gaat ook op voor straffen: het moet direct op het ongewenste gedrag volgen.

Veel hondebezitters maken de fout dat ze hun viervoetige vriend straffen uit woede of frustratie. Zij straffen bijvoorbeeld hun hond als die niet wil komen op bevel, of als die tijdens de afwezigheid van de baas het meubilair heeft vernield. In deze gevallen is de timing verkeerd, want een hond kan geen verband leggen tussen een af te straffen daad en een straf die pas enkele minuten later komt. Straft men te laat, dan straft men de hond dus voor diens handelingen ná het ongewenste gedrag. De hond die bij thuiskomst van de baas wordt gestraft voor het vernielen van de huisraad, leert hooguit bang te worden voor de thuiskomende baas. En het dier dat na veel geroep eindelijk komt opdaven leert dat dát in elk geval onprettig is. Het beste is dan ook te straffen als de hond begint met het ongewenste gedrag, vooral omdat de hond daar dan nog geen beloning van heeft ervaren.

Belangrijk is tevens *consequent zijn* bij het toedienen van straf. Het resultaat van slechts af en toe straffen is dat de hond het ongewenste gedrag, met de bijbehorende bevrediging, toch regelmatig kan uitvoeren en daardoor bekrachtigd wordt. Daarnaast doet niet effectief straffen afbreuk aan de dominantie positie van de baas.

Men hoeft zijn hond zeker niet altijd fysiek te straffen. Ook het wegnemen van een aangename situatie werkt als straf, bijvoorbeeld als de hond voor een paar minuten vanuit de woonkamer, waar de 'gezinsroedel' aanwezig is, in de lege gang wordt gezet. Deze zogenaamde *time out* is met name effectief als men er niet achter komt welke dingen in zijn omgeving voor de hond belonend werken.

## Blindengeleidehonden

De opleiding tot blindengeleidehond schept een groot aantal bijzondere problemen. Vele, deels aangeboren handelingen mag de hond tijdens het werk niet uitvoeren. Zo mag de hond bijvoorbeeld na het commando "vooraan", niet afwijken van de rechte weg voor exploratie, niet afgaan op geurprikkel en niet stil blijven staan snuffelen, urineren of ontlasten. Het algemene principe dat wordt gevolgd bij het afleren van dit soort gedragingen is: zorg ervoor dat de hond ze in het geleidetuig als onaangenaam ervaart, door ze te koppelen aan een onaangename prikkel. Belangrijk daarbij is dat deze onaangename prikkel niet van de geleider mag komen, maar bijvoorbeeld wel van het tuig, dat naar beneden wordt gedrukt. Loopt de hond weer door dan kan dat worden beloond. Zo kan de hond leren bepaalde handelingen na te laten als hij het tuig om heeft.

Obstakels naast de hond, zoals lantaarnpalen, vuilnisbakken en verkeersborden, vormen voor de hond geen hindernis. Ook smalle doorgangen, laaghangende takken en kuilen in het trottoir zijn voor de hond geen probleem, maar voor de blinde wel. Slechts met veel moeite en geduld leert men een hond dergelijke hindernissen te vermijden.



I-1

I-1. Het tuig waarborgt een goed contact tussen een blinde en zijn geleidehond. Het geeft de bewegingen van de hond goed door aan zijn baas, en stelt die in staat de hond indirect te corrigeren. Daardoor lijken de onaangena-

me prikkels afkomstig van de objecten die de hond moet vermijden en niet van de blinde.

I-2. Een blindengeleidehond in opleiding moet leren zich als een 'stads-mens' te gedragen.





I-2

Al dit soort obstakels moeten voor de hond onaangenaam worden gemaakt, zodat hij er op gaat letten. Dankzij allerlei kunstgrepen lijken de onaangename prikkels van het object te komen en niet van de baas. Hierdoor gaat de hond op de objecten letten en niet op zijn baas. De hond moet leren, dat als hij dit soort objecten opmerkt hij de blinde om de hindernis moet leiden, of er vlak voor dient te stoppen, zodat de blinde de hindernis kan verkennen. Zeer belangrijk is dat de hond leert een commando niet uit te voeren als daardoor de baas in gevaar komt. De hond moet bijvoorbeeld weigeren recht door te lopen aan de rand van het water. Het in dergelijke situaties weigeren van een bevel van een dominant, is van levensbelang voor het functioneren van de combinatie.

Een probleem van een geheel andere aard is het leren zoeken naar bijvoorbeeld een bank in een park, een zebrapad of de ingang van een tram of trein. Alleen met beloningsdressuur kan een geleidehonden-trainer dat de hond bijbrengen. Zo leert de hond eerst het woord "bank", als hij naar de bank loopt en daar een van tevoren klaargelegd hondekoekje vindt. De trainer herhaalt de oefening vele malen, ook zonder koekje, door te belonen met de stem en door aanhalen. Daarna leert de hond een bank te vinden vanaf een grotere afstand.

De opleiding van de hond die een blinde in de stad moet geleiden, omvat naast leren stoppen op de rand van het trottoir en haaks leren oversteken, ook het verkeerszeker maken van de hond. Dit laatste vormt een van de grootste problemen. Lang niet alle opleidingsinstituten leiden honden hiervoor op. Wordt de hond toch opgeleid om de blinde ook te helpen oversteken, dan krijgt hij via vermijdingsconditionering aangeleerd auto's en fietsen op de rijbaan als iets onaangenaams te zien. Ook hier zorgt de trainer ervoor dat de onaangename prikkels uitgaan van het voertuig en niet van de geleider, door de hond bijvoorbeeld in onaangenaam contact te laten komen met een fietser of te confronteren met een plotseling hard remmende, toeterende auto. De instructeur laat de hond doelbewust een fout maken om hem de gewenste leerervaringen te laten opdoen. De hond moet ook het onderscheid leren tussen rijdende en stilstaande voertuigen. Het is vooral moeilijk de hond te leren afstand en snelheid van naderende voertuigen juist te schatten. Voor een geleidehond zijn automobilisten die beleefd stoppen een probleem. Zij kunnen beter gewoon doorrijden, ook al lijkt dat niet erg vriendelijk. Het blijft, ook met een goed opgeleide hond naast zich, noodzakelijk dat de blinde op zijn gehoor mede bepaalt wanneer het een geschikt moment lijkt om over te steken.





15

Soms is straffen af te raden, bijvoorbeeld bij angst van de hond. Bij sommige honden kan te sterke straf leiden tot (angst)agressie. Een ander geval is de hond die uit onderdanigheid plast bij thuiskomst van de baas. Straffen vergroot in dit geval het probleem. Het is veel beter om de hond eerst te negeren en hem pas na enige tijd rustig aan te halen. Mogelijk ligt in het tonen van dominant gedrag – het toedienen van straf – en het succes dat de hondebezitter daarmee boekt, wel een deel van de bevrediging die het hebben van een hond geeft.

### Probleemgedrag

Door toepassing van de leerprincipes zijn de meeste gedragsproblemen te verhelpen. Het probleemgedrag kan echter een fysieke oorzaak hebben, bijvoorbeeld bijten vanwege reumatische pijn. Meestal zijn omgevingsinvloeden de primaire oorzaak voor het ontstaan van probleemgedrag: een verkeerd verlopen vroege socialisatie of – vaker – een verkeerde conditionering en soms een traumatische ervaring. Veel moeilijkheden zijn terug te voeren op rangordeproblemen, die vaak weer conditioneringsfouten in de hand werken.

Aan de hand van enkele voorbeelden lichten we toe hoe gedragsveranderingstechnieken kunnen worden gebruikt. Elke methode vergt een geduldige trainer, die inzicht heeft in het gebruikte principe.

*Extinctie* houdt in dat de hond een gedrag minder vaak vertoont als het niet langer 'loont'. Zo zal een hond afleren om te bedelen als hij niets meer krijgt. Als een hond, doordat zijn baas hem steeds troostte (of omdat die zelf troost zocht?), nog banger voor onweer is geworden dan hij al was, kan louter het achterwege laten van het troostend aanhalen verbetering in de situatie brengen, alhoewel vaak aanvullende maatregelen nodig zijn, zoals *counter-conditioneren*. Dit is het aanleren van een ander gedrag dan het ongewenste. Blaffen als de deurbel gaat kan bijvoorbeeld worden weggetraind door een gewenst gedrag – in de mand liggen – sterk te belonen en het ongewenste gedrag absoluut niet meer te belonen of zelfs af te straffen.

Een andere methode is de *systematische desensibilisatie*, een gewenningsprocedure waarbij het dier geleidelijk minder gevoelig wordt gemaakt voor een bepaalde prikkel. Hierbij worden bijvoorbeeld harde geluiden waar de



15. Deze Duitse herder heeft geleerd de geur van drugs te waarderen. Als hij ze vindt wacht hem, in tegenstelling tot de smokkelaar, een krachtige beloning.

16. Als uw hond u zo aangromt is de relatie met uw huisdier ernstig verstoord. Slechts met veel moeite, en vaak alleen met professionele hulp, kunt u die weer herstellen.



16

hond bang voor is, eerst in een lage intensiteit aangeboden. Elke goede reactie, dat wil zeggen elk gedrag dat geen angst inhoudt, wordt beloond. Als de hond goed reageert wordt de prikkelsterkte zeer geleidelijk opgevoerd. *Flooding* is een rigoreuze variant van deze methode.

Men brengt de hond daarbij doelbewust in een situatie waarin angst optreedt. De hond moet daarbij een ander gedrag dan angstgedrag kunnen uitvoeren, waarvoor hij dan beloond kan worden. Het gebruik van voedsel als beloning heeft bij deze methode als voordeel dat het de angstmotivatie helpt onderdrukken.

Het verminderen van angst is niet alleen voor het welzijn van de hond van belang. Bij sterke angst wil de hond nogal eens proberen het probleem op te lossen door angstbijten, wat uiteraard gevaarlijk is voor de mensen in zijn omgeving.

### De rollen omdraaien

Agressieproblemen vinden vaak hun oorzaak in verkeerde rangverhoudingen, waarbij de hond de baas is over één of meerdere gezinsle-

den. Vaak is dit het gevolg van onvoldoende of inconsequent corrigeren van ongewenst gedrag. Vanwege de risico's verbonden aan een fysieke confrontatie met de hond, is een geleidelijke counter-conditionering vaak de enige oplossing om de rangen te wijzigen. De basisgehoorzaamheidsoefeningen kunnen hierbij een belangrijk hulpmiddel zijn.

Allereerst moet de hond niet meer worden aangehaald zonder dat hij er iets voor heeft gedaan. De gehoorzaamheidstraining moet beginnen met een eenvoudig commando dat de hond nog wel eens wil uitvoeren, bijvoorbeeld "zit". Gaat de hond op commando zitten dan moet men hem direct belonen met een hondekoekje. Als dit werkt kan de baas de training uitbreiden met andere basiscommando's als "volg" en "lig".

Lukt dit laatste, dan is het mogelijk de hond op commando een min of meer onderdanige houding te laten innemen. Indien het commando "lig" op deze wijze zo'n veertig maal per dag wordt geoefend, is de rangorde in een paar weken omgedraaid. Zo krijgt de baas, ook als die de hond fysiek niet goed de baas kan, op een veilige, sluipende manier weer controle over het dier. Gewapend met kennis over het gedrag van de hond en over de manier waarop het dier iets kan leren, kan elke hondebezitter zorgen voor een gezonde relatie met zijn bijzondere huisdier.

### Literatuur

- Scott JP, Fuller JL. Dog behaviour: the genetic basis. Chicago/Londen: The University of Chicago Press, 1974.  
 Tempel R vd, Heiligenberg T vd, Hooff J v. Sociaal gedrag bij wolven - Parallelen naar de mens? Natuur & Techniek 1983; 51: 5, 366-381.  
 Hart LB, Hart LA. Canine and feline behavioural therapy. Philadelphia: Lea & Febiger, 1985.  
 Zimen E. Der Hund: Abstammung-Verhalten-Mensch und Hund. München Bartelsmann, 1988

### Bronvermelding illustraties

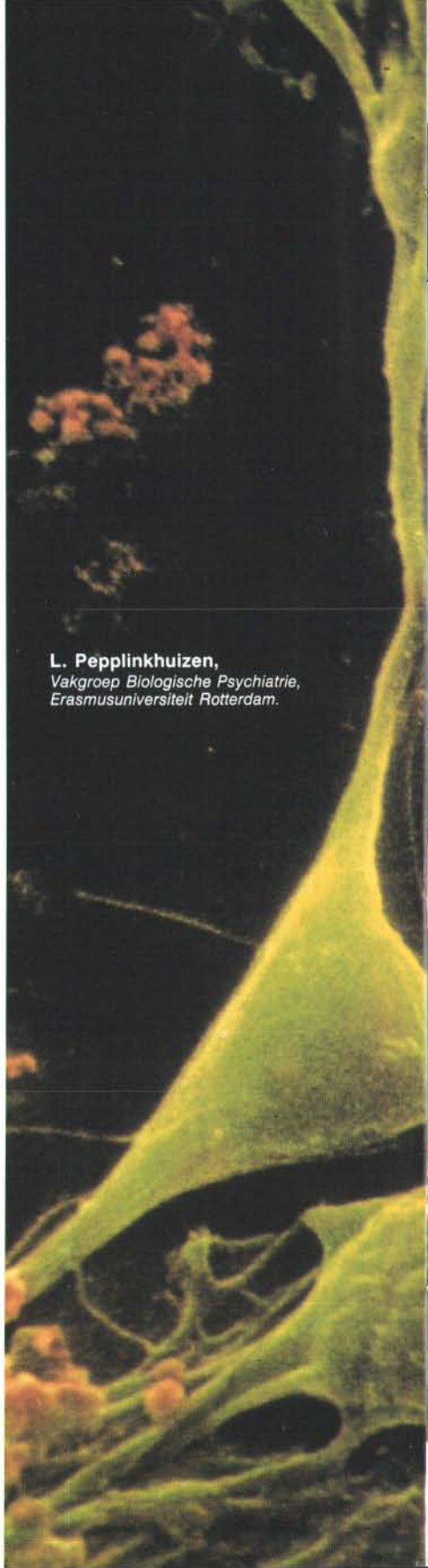
- Wim van Vugt, Eindhoven: 672-673, 7 en 8  
 ANP-foto, Amsterdam: 1 en 15  
 R. Derix: 2  
 L.A. Labruyère/KNJV, Amersfoort: 5  
 Martin Gaus' Instituut voor Gedragstherapie/Dierenhotel Lelystad: 6, 11, 12, 13, 14, 16, I-1 en I-2

# Zenuw, Ziel en Ziekte

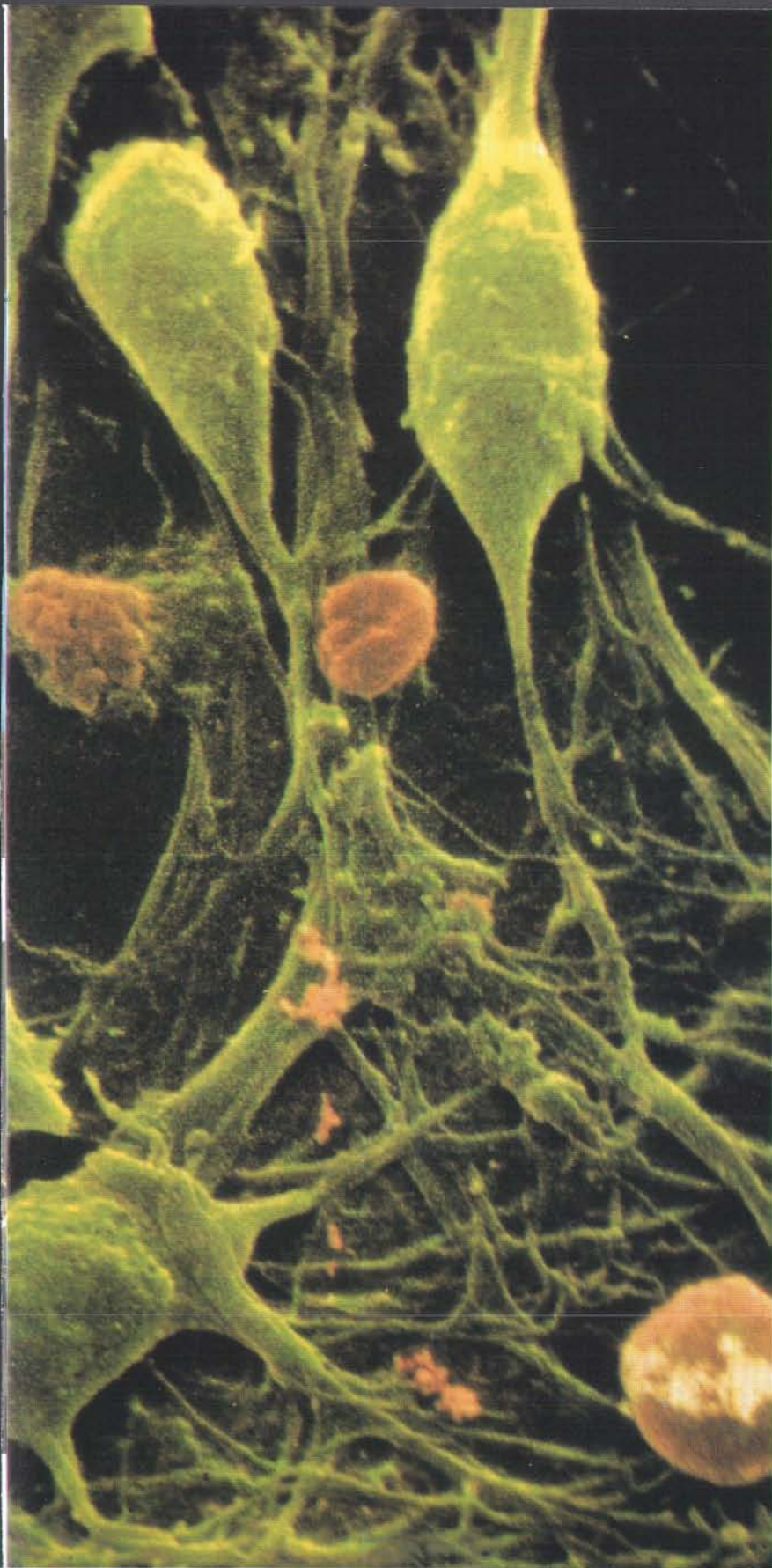
## EVENWICHT IN DE HERSENEN

Psychische klachten en psychiatrische symptomen doet men in de volksmond vaak af met de opmerking dat degene die ze vertoont, uit zijn evenwicht is geraakt of een onevenwichtig karakter heeft. De achterliggende gedachte is blijkbaar dat geestelijke gezondheid berust op een soort evenwicht tussen tegenstrijdige krachten in de psyche. De laatste tientallen jaren beginnen de onderzoekers inzicht te krijgen in de chemie van de hersenen. De activiteit en stabiliteit van de diverse neurotransmitter-systemen lijken nauw met het geestelijk evenwicht samen te hangen.

**L. Pepplinkhuizen,**  
*Vakgroep Biologische Psychiatrie,  
Erasmusuniversiteit Rotterdam.*







De neuronen in de hersenen staan met elkaar in verbinding via de zogenaamde synaps. Neurotransmitters verzorgen de overdracht van signalen over de synaptische spleet. Inmiddels hebben onderzoekers enkele tientallen neurotransmitters geïdentificeerd, die elk via een eigen stelsel van zenuwbanen in de hersenen hun werking uitoefenen. Storingen van deze zenuwbanen en neurotransmitters liggen wellicht ten grondslag aan psychische ziekten als manische depressiviteit en schizofrenie. Chemische verbindingen die de geest kunnen beïnvloeden, bevestigen dit beeld.

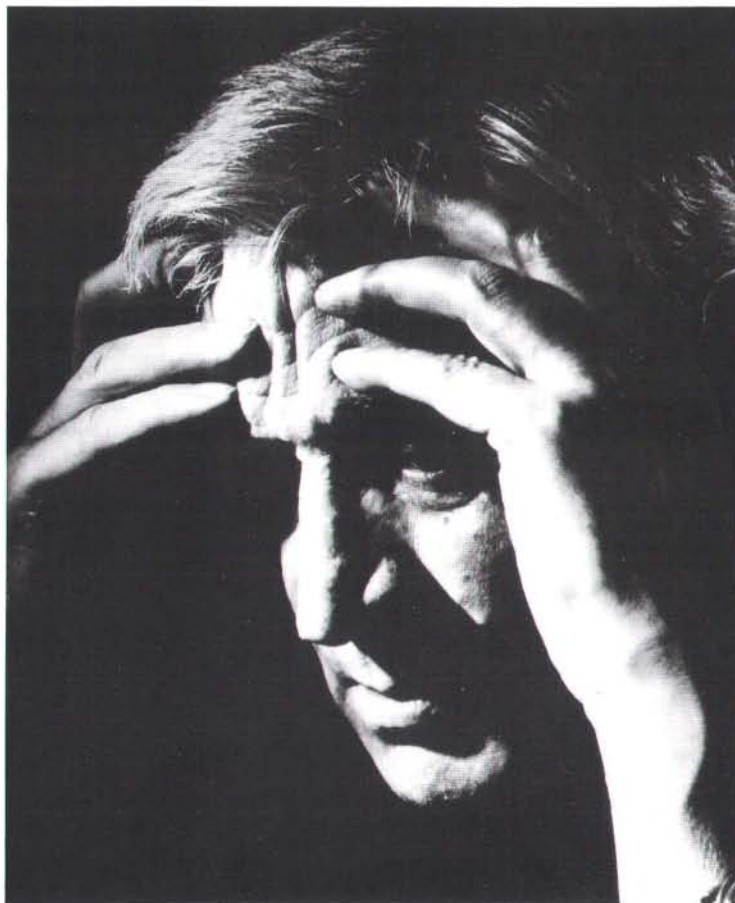
De complexiteit van het centrale zenuwstelsel gaat onze huidige inzichten nog te boven. De interactie van tientallen neurotransmitter-systemen is nog nauwelijks in kaart gebracht en het behoort tot de wereldwonderen dat een zó groot orkest van vele spelers en hun instrumenten in staat is tot een harmonieus samenspel. Wat is er over die harmonie bekend?

Al vaak heeft men de hypothese geopperd dat de vele uitingsvormen van psychiatrisch lijden in feite slechts voortvloeien uit een beperkt aantal stoornissen in het centrale zenuwstelsel. Dat een psychische ziekte allerlei vormen kan aannemen en meer of minder ernstig kan zijn, zou dan te wijten zijn aan andere factoren, met name organische beschadigingen of de mate van over- of onderontwikkeling van persoonlijkheidsfactoren zoals introversie en ex-

traversie, intelligentie en perceptie. Zo voert men nog steeds argumenten aan voor de stelling dat zowel de manisch-depressieve als de schizofrene psychosen verschillende uitingen zijn van één enkele stoornis. Deze opvatting staat te boek als het *eenheidsprincipe van de psychosen*.

### Een brede werking

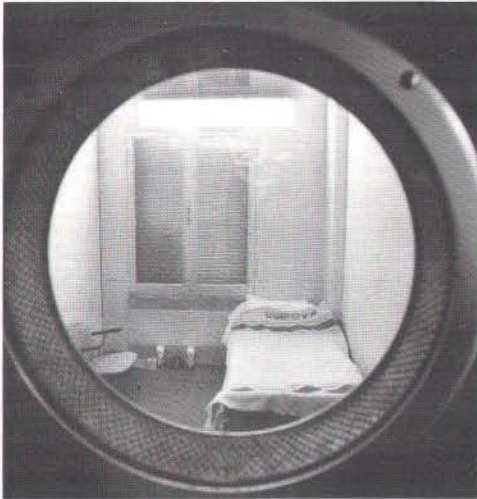
De praktijk is echter anders, en daarmee stoten we op een merkwaardige tegenstelling. Van de ene kant onderkent men in de klinische psychiatrie de meest uiteenlopende psychiatrische symptomen, syndromen en ziekten. Kosten noch moeite — in de zin van uitgebreide observatie, psychiatrisch en psychologisch onderzoek — worden gespaard om tot een duidelijke



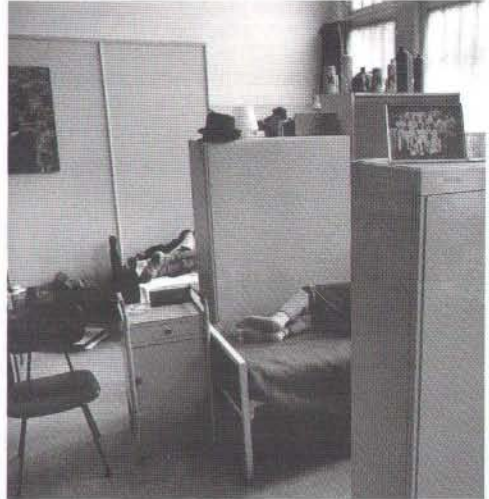
1. Depressiviteit lijkt samen te hangen met storingen van het serotonerge systeem. Antidepressiva blijken de heropname van serotonine door het presynaptische deel van de synaps te blokkeren. Het serotonerge systeem is eveneens gekoppeld aan andere psychiatrische symptomen als angst, agressie en neiging tot verslaving. Mogelijk reguleert dit systeem andere systemen in de hersenen.

2. en 3. Sommige psychiatrische patiënten worden verpleegd in een separaat cel, terwijl anderen gezamenlijk op een sobere slaapzaal verblijven.





2



3

diagnose te komen. Maar van de andere kant kiest men uiteindelijk toch uit een zeer beperkt arsenaal van psychofarmaca om al deze symptomen en syndromen te bestrijden. Weliswaar bestaat er een grote verscheidenheid aan geneesmiddelen, maar de wijze waarop vele preparaten farmacologisch werken en daarmee een therapeutisch effect hebben, is volledig identiek. Hierdoor kan een arts volstaan met slechts een zeer kleine selectie uit de vele beschikbare preparaten.

Om een globale indruk te geven: vele lijders aan angststoornissen worden effectief behandeld met antidepressiva, of ze nu gebukt gaan onder paniekaanvallen of lijden aan ernstige depressies, ziekelijke eetlust of premenstruele klachten. Van de antidepressiva hebben de zogenaamde serotonine-heropname-blokkers zich een grote plaats verworven; zij voorkomen dat de neurotransmitter serotonine opnieuw in het zenuwceluiteinde terecht komt (zie *Intermezzo*). Daardoor kan deze verbinding langer dan normaal andere zenuwcellen activeren. Maar deze antidepressiva leveren ook goede resultaten bij de bestrijding van pijn en verslaving.

Hiermee is de rol van de neurotransmitter serotonine in de psychiatrie nog niet uitgeput. Het serotonerge systeem, dat met serotonine werkt, vervult ook andere functies. Ontregeling ervan speelt onmiskenbaar een belangrijke rol bij agressie, inclusief die vorm van agressie

die zich tegen het individu zelf keert, zoals zelfmoord. Het serotonerge systeem blijkt ook betrokken bij acute psychosen die gepaard gaan met visuele hallucinaties, visioenen, illusies, vluchtige wanen en heftige emoties. Merkwaardig genoeg vertoont dit type psychose een sterke overeenkomst met dromen, maar ook met psychedelische of psychotische toestanden die men opwekt met behulp van stoffen als LSD, mescaline of andere hallucinogene stoffen.

### Symptoombestrijding

Enkele groepen van geneesmiddelen kan men bij veel verschillende diagnostische categorieën toepassen. Dit feit doet ons beseffen onder welk een gelukkig gesternte de psychiatrie zich bevond toen in de jaren vijftig psychofarmaca werden ontdekt met zo'n breed spectrum aan therapeutische mogelijkheden. Zodra men psychofarmacologisch gaat ingrijpen, blijkt het niet of nauwelijks meer van belang te zijn wat de voorafgaande diagnose precies was en hoe de afwijking is ontstaan. Men beperkt zich dan tot symptoombestrijding, bijvoorbeeld door in te grijpen in het dopaminerge systeem. Zo kunnen we een groot aantal psychosen, van delirium tot en met schizofrenie, succesvol behandelen met zogenaamde antipsychotica. Ondanks het feit dat deze antipsychotica in een aantal eigenschappen kunnen verschillen, is



hun antipsychotische werking te herleiden tot één gemeenschappelijk kenmerk: ze blokkeren de receptoren voor de neurotransmitter dopamine van zenuwcellen.

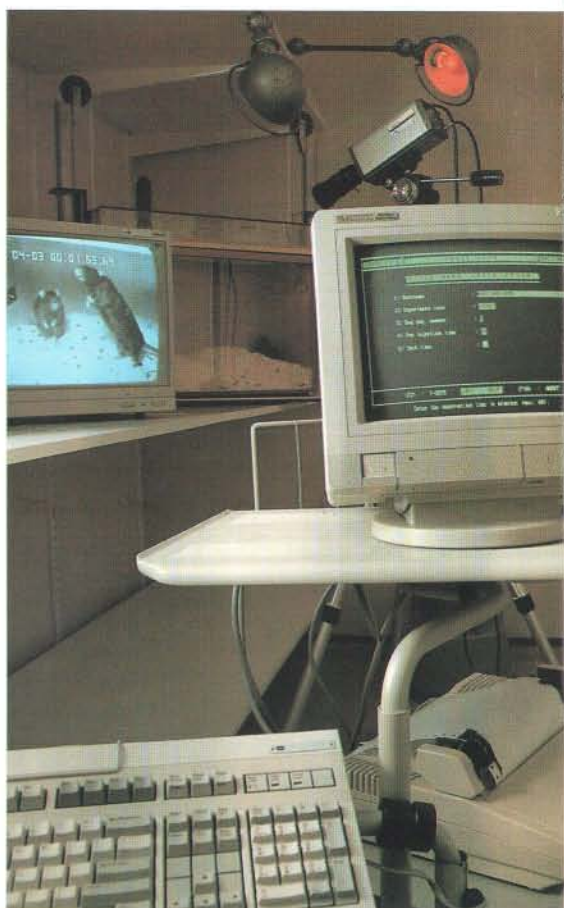
De klassieke diagnostische categorieën hebben daarmee ten dele hun waarde verloren; het doet er niet meer toe hoe het afwijkende gedrag tot uiting komt, bijvoorbeeld of men de wereld anders waarneemt of er anders op reageert.

De vraag is of dat een goede ontwikkeling is. Uit biologisch-psychiatrisch onderzoek blijkt bijvoorbeeld dat 'afwijkende' biologische bevindingen ook bij andere groepen patiënten of zelfs bij normale mensen kunnen voorkomen. Ook kunnen symptomen veranderen. Het komt nogal eens voor dat een psychose die tijdens de jeugd uitbreekt, op grond van de symptomen onmiskenbaar als schizofreen moet worden gediagnostiseerd; maar vele jaren later blijkt deze diagnose niet meer te kloppen, omdat de nieuwe symptomen eerder op een manisch-depressieve psychose wijzen. En het omgekeerde komt eveneens voor. Ook bij experimenten blijkt deze variatie in symptomen op te treden. Zo kan men door LSD toe te dienen, bij verschillende persoonlijkheidstypen en al naar gelang de tijdelijke sociale omstandigheden, totaal verschillende belevingen en symptomen oproepen.

Tegelijkertijd is ook duidelijk geworden dat de huidige psychofarmacologie aan de psychiatrische patiënt weliswaar veel te bieden heeft, maar dat genezing toch vaak niet mogelijk is. Vele depressies en angsttoestanden blijven terugkeren en schizofrenie kan tot blijvende persoonlijkheidsdefecten leiden. Het is duidelijk dat we vaak in staat zijn ergens in de keten van chemische oorzaken en psychische gevolgen in te grijpen, maar dat we nauwelijks weten hoe de ontregeling tot stand is gekomen.

### Verstoorde stabiliteit

Een belangrijke component in het zenuwstelsel vormt het serotonerge systeem (zie Intermezzo). Wanneer dit systeem faalt treden er allerlei psychiatrische symptomen op: angst, agressie, suïcide, depressie, dwang, droomachtige psychosen en neiging tot verslaving kunnen zich manifesteren. De vraag is hoe zulke uiteenlopende psychiatrische symptomen en syndromen onder één noemer zijn te brengen. Is



4

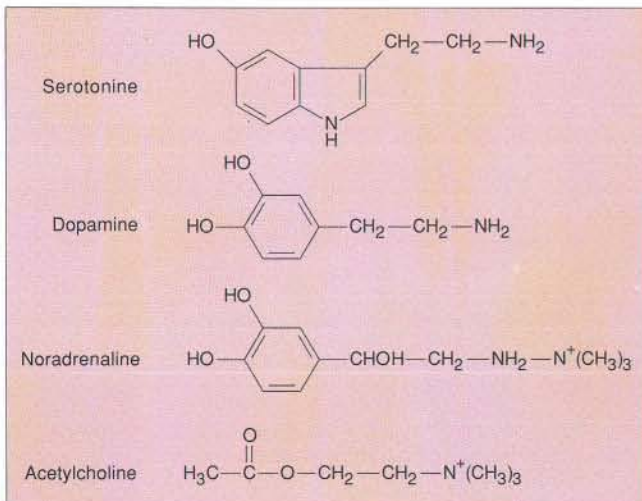
het mogelijk dat het serotonerge systeem een leidende en regulerende invloed uitoefent op andere systemen, die zonder deze leiding gezamenlijk of ieder afzonderlijk uit de toon kunnen vallen en hun eigen 'wanklanken' gaan produceren?

Een nadere bestudering van een typische paniekaanval kan ons misschien op weg helpen. Een paniekaanval wordt vooral uitgelokt door het wegvallen van de lijfelijke aanwezigheid en/of geestelijke steun van een vertrouwde medemens of sleutelfiguur. Dit geldt met name voor situaties waarin grote mensenmassa's of onverwachte, niet te controleren gebeurtenissen het bestaan van de patiënt zouden kunnen bedreigen. Mensen in dergelijke omstandigheden mijden dan ook drukke winkels, open ruimten of openbaar vervoer. We stuiten hier





5



6

4. Bij het onderzoeken van de werking van psychofarmaca maakt men gebruik van dierproeven. Pas in een later stadium zal een enkele verbinding dermate geschikt blijken te zijn, dat deze ook bij mensen kan worden getest.

5. Een radioactief gelabelde antagonist van dopamine,  $[3H]$ -CV 205-502, bindt aan dopaminereceptoren in raten hersenen. In een autoradiogram ziet men waar de meeste receptoren zich bevinden. Op deze wijze heeft men informatie verzameld over de ligging van de diverse synapsen. Het lichtgekleurde gebied is de nucleus caudatus.

6. Vier van de bekendste neurotransmitters in de hersenen zijn serotonine, dopamine, noradrenaline en acetylcholine.

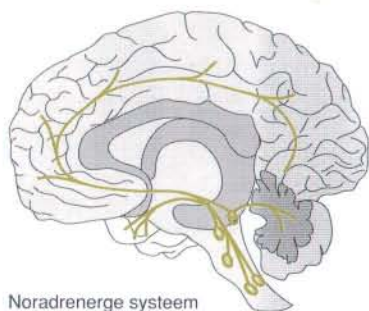
## Een netwerk van verbindingen

Met behulp van speciale kleurtechnieken is gebleken dat zenuwcellen (neuronen) uitlopers bezitten waarmee ze in contact staan met naburige neuron. Zodra een elektrische impuls bij een zenuwceluiteinde aankomt, zet het een serie reacties in gang waarbij een zogenaamde neurotransmitter vrijkomt, die vervolgens de spleet (synaps) tussen het (presynaptische) zenuwceluiteinde en het volgende (postsynaptische) neuron oversteekt. Zodra de neurotransmitter naar het postsynaptische neuron is gediffundeerd, hecht hij zich aan specifieke receptorplaatsen op het postsynaptische membraan; daardoor wordt de frequentie waarmee deze cel impulsen afvuurt versneld of juist vertraagd – afhankelijk van het chemische mechanisme ter plaatse.

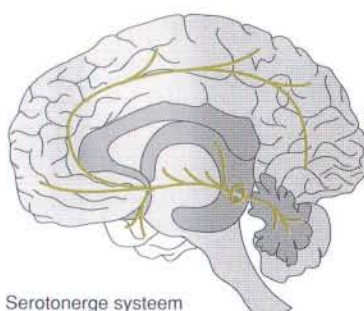
De meeste neurotransmitters worden in het zenuwceluiteinde gevormd. Na aanmaak worden ze tijdelijk opgeslagen in bolvormige structuurtjes in

het zenuwceluiteinde: de synaptische blaasjes. Zodra er een elektrische impuls aankomt, versmelten de blaasjes met het membraan van het zenuwceluiteinde en storten hun lading neurotransmitter in de synaptische spleet uit.

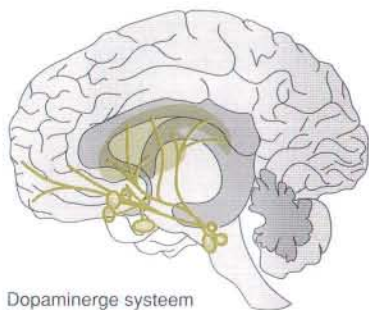
Psychofarmaca kunnen de synaptische overdracht van impulsen op allerlei manieren beïnvloeden. Sommige stoffen, zoals bepaalde bloeddrukverlagende medicijnen, remmen één van de enzymen die voor de aanmaak van neurotransmitters zorg dragen. Andere stoffen, zoals het kalmeringsmiddel reserpine, verhinderen een goede opslag van bepaalde neurotransmitters. Weer andere psychofarmaca, zoals amfetaminen, nemen de plaats in van neurotransmitters op de receptor maar werken niet. Tenslotte zijn er stoffen, met name bepaalde antidepressiva, die de afbraak van neurotransmitters in de synaptische spleet verhinderen.



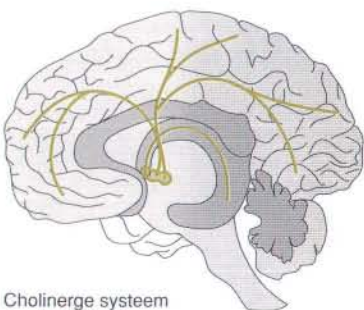
Noradrenerge systeem  
(noradrenaline)



Serotonerge systeem  
(serotonine)

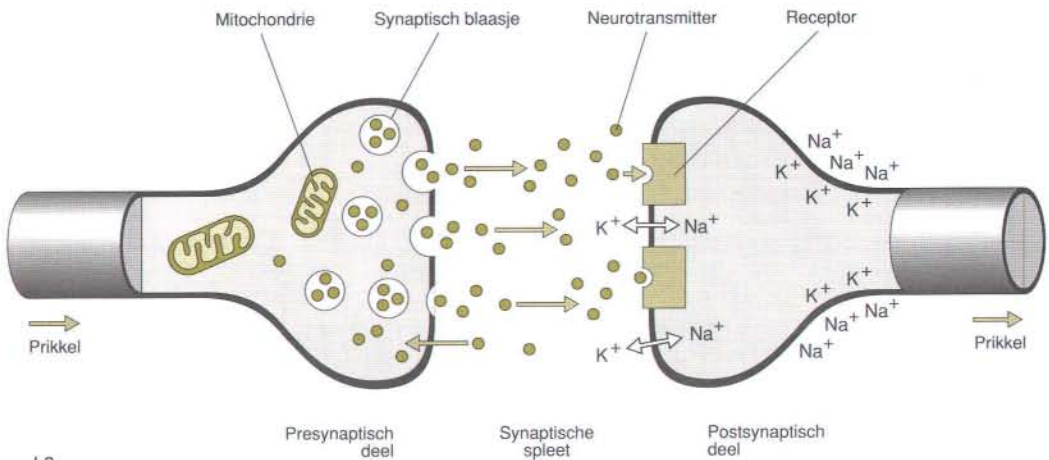


Dopaminerge systeem  
(dopamine)



Cholinerge systeem  
(acetylcholine)





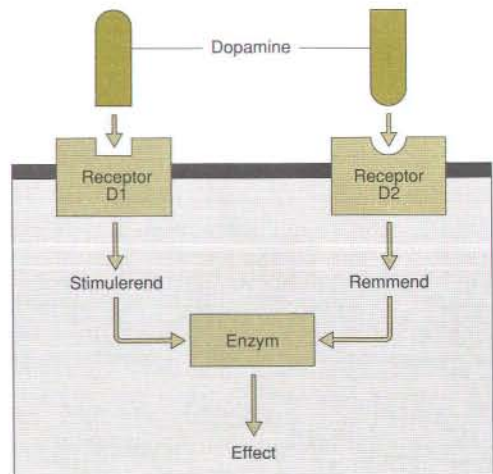
I-2

I-1. Iedere neurotransmitter regelt de overdracht van signalen in de hersenen via bepaalde zenuwbanen. Het serotonerge systeem lijkt de andere systemen te dirigeren tot een soepel samenwerkend geheel.

I-2. In het presynaptische zenuwuiteinde produceert een zenuwcel een neurotransmitter, die wordt opgeslagen in synaptische blaasjes. Na aankomst van een actiepotentiaal versmelten de blaasjes met het membraan, waarbij neurotransmitter in de synaptische spleet komt. Een deel van deze molekulen overbrugt deze

spleet en hecht zich aan receptoren in het postsynaptische deel. Daardoor worden enzymen geactiveerd die zorgen voor verdere geleiding van de actiepotentiaal. Het presynaptische zenuwuiteinde neemt een ander deel van de molekulen weer op.

I-3. Er zijn twee verschillende receptoren voor dopamine. Volgens een recente hypothese hecht dopamine op verschillende wijze aan deze receptoren. Afhankelijk van de aanwezige receptoren heeft dopamine een stimulerend of remmend effect op de activiteit van een neuron.



I-3

Rond 1975 waren niet meer dan vijf neurotransmitters redelijk onderzocht: serotonine en de zogenaamde catecholaminen (acetylcholine, dopamine, adrenaline en noradrenaline). Momenteel zijn er minstens twintig zeer uiteenlopende transmitterstoffen uit de hersenen bekend. Ze hebben ieder hun eigen werking en zijn in bepaalde hersenbanen gelokaliseerd. Zo zijn er met behulp van speciale kleuringen dopamine-bevattende zenuwbanen zichtbaar gemaakt. Zij vormen het zogenaamde dopaminerge systeem dat onder andere nauw betrokken is bij de coördinatie van lichaamsbewegingen.

Andere systemen werken met andere neurotransmitters. Het cholinerge systeem, bijvoorbeeld, is gebaseerd op de verbinding acetylcholine, die ook in het perifere zenuwstelsel een belangrijke rol speelt. Men denkt dat de zenuwcellen uit dit systeem processen sturen die nodig zijn voor verstandelijke functies zoals nadenken en redeneren. Verder is er een noradrenerg systeem; het is op noradrenaline gebaseerd en staat via vele en lange vertakkingen in contact met nagenoeg de gehele hersenschors. Waarschijnlijk is dit systeem betrokken bij gevoelens en emotionele reacties op de buitenwereld.

op een belangrijk principe: de patiënt, verliest het geloof dat hij zijn omgeving en ook zijn eigen lichaam kan vertrouwen en vreest dat deze zich tegen hem zullen keren.

In ernstiger gevallen vervreemden de omgeving en het eigen lichaam zich daadwerkelijk van hem of haar; alles wordt vreemd, nieuw, onwerkelijk. Vaak worden eigen lichaam, tijd en omgeving sterk vervormd en in brokstukken waargenomen. De patiënt verliest het stabiele veilige wereldbeeld en bevindt zich als een klein kind in een bedreigende wereld die slechts kan worden betreden aan de hand van een sterke en vertrouwde medemens. Er rest de patiënt niets anders dan in paniek naar een overbekende omgeving te vluchten of snel alcoholica in te nemen om het verstoorde evenwicht te herstellen van een bekende, controleerbare, beheersbare wereld tegenover een onbekende, oncontroleerbare en veranderde wereld.

Ook bij ziekelijke eetlust (boulimie) zien we hoe de patiënt zijn controle over dagelijks

voorkomende omstandigheden heeft verloren. Een gering gevoel van onbehagen – dat door psychische factoren kan ontstaan, maar ook door een gewone daling van het glucosegehalte in het bloed – leidt tot een explosief, oncontroleerbaar gedrag: men gaat koolhydraatrijk voedsel bunkeren. Dit leidt wellicht tot een verbeterde activiteit van het serotonerge systeem, waardoor het gevoel van welbehagen weer tijdelijk is hersteld.

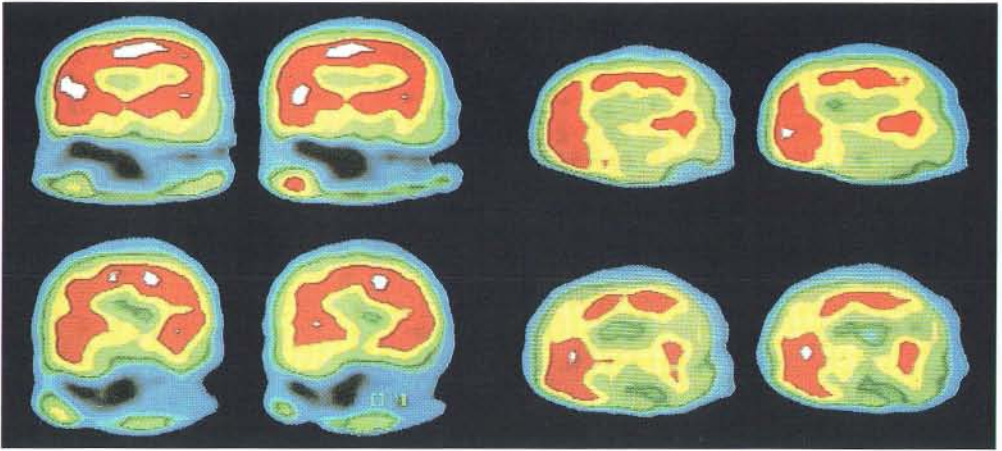
Hetzelfde geldt voor een depressie. Een kleine teleurstellende of tegenvallende gebeurtenis leidt tot de diepste wanhoop en tot het gevoel dat men minderwaardig en onder de maat is. De remmende en corrigerende invloed van het 'gezonde verstand' is weggefallen en de patiënt is overgeleverd aan een sterke vertekening van negatieve gevoelens, emoties en affecten. Ook hier zien we een omkering optreden: de emoties nemen bezit van de patiënt en gaan zijn gedrag bepalen. Kort samengevat, met een parafrase op de zenuwarts Carl Gustav Jung: door verstoringen van het serotonerge systeem



7. Dopaminerge neuronen in de substantia nigra zijn gekleurd met behulp van antistoffen. De antistoffen binden aan kenmerkende eiwitten en veroorzaken, door middel van een aangehecht enzym, een zwarte kleuring.

8. Met moderne apparatuur verkrijgt men inzicht in de veranderingen die kunnen optreden in de hersenen. Hier ziet men de hersenen van een volwassen mens onder gewone omstandigheden (links) en tijdens een psychose die ontstaat na toediening van mescaline.





8



9

9. Gebruik van amfetaminen kan een psychose veroorzaken. Deze illegale drug wordt ondermeer verhandeld in de vorm van deze geïllustreerde vloeipapiertjes waaraan de verbinding geabsorbeerd is.

wordt de objectieve wereld tot een subjectieve vervormd en is de plaats van de mens als heerser daarin weggevallen.

### Droom en psychose

Geldt deze generalisatie nu ook voor de acute psychose, die zo'n sterke gelijkenis vertoont met de droom? Men heeft inderdaad sterke aanwijzingen gevonden dat een acute psychose wordt veroorzaakt door intern gevormde  $\beta$ -carbolines die het serotonerge systeem onregelen. En van de droom, of liever gezegd van de REM-slaap, is bekend dat deze mede tot stand komt door of afhankelijk is van het plotseling wegvallen van elke activiteit in het serotonerge systeem.

Ook een omkering in de relatie van subject tot object is zowel in de droom als in de psy-

chose duidelijk aanwezig. Het subject is overgeleverd aan de beelden die uit het niets opdoemen en reageert daar slechts passief op. Témidden van een stortvloed van zintuiglijk-emotionele prikkels is het onmogelijk doelbewust en weloverwogen te reageren. Ook het logische denken blijkt zijn kracht te verliezen en moet plaatsmaken voor het zogenaamde prelogische denken; uiteindelijk zijn denkactiviteiten nog slechts visueel. In de psychose verliest de waargenomen omgeving haar vertrouwde aanzien; ze maakt plaats voor vervormde waarnemingen en illusies. De patiënt beschikt niet meer over zijn vrijheid van wil, denken en waarneming.

Bij normale activiteit zijn de normale ik-functies gewaarborgd. Het serotonerge systeem vormt, zo blijkt ook uit dierexperimenten, een zeer belangrijke stabilisator die 'wan-

klanken' uit het centrale zenuwstelsel onder bedwang houdt. Geestelijke evenwichtigheid lijkt dan ook in hoge mate afhankelijk van de functie van het serotonerge systeem. Om geen slaaf te zijn van sleutelpersonen, koolhydraten, alcoholica en andere zogenaamde verslavende stoffen, om niet overgeleverd te worden aan een wereld vol angsten, om zich goed te beschermen tegen terugkeer naar gedrag dat past bij een kinderlijker stadium in de ontwikkeling van het gevoelsleven, is een goed functioneren van het serotonerge systeem een vereiste. Met een normale activiteit van het serotonerge systeem is de mens de vrijheid gegeven zich als een rationeel wezen te bevinden in een stabiele, onveranderd waargenomen wereld.

### Heer en meester

Is de mens nu ook in staat deze vrijheid met weloverwogen denken en handelen in te vullen? Dat hangt af van de activiteit van de systemen die werken met andere neurotransmitters, zoals acetylcholine, dopamine en noradrenaline. Deze bepalen in hoge mate of de mens ook daadwerkelijk meester is van de objectieve wereld.

Zo is het noradrenerge systeem belangrijk voor een snelle herkenning van het waargenomen en voor verhoging van waakzaamheid en actiegeneigdheid. Voor de motoriek daarentegen is juist het dopaminerge systeem van cruciaal belang. De gevolgen van een falend dopa-

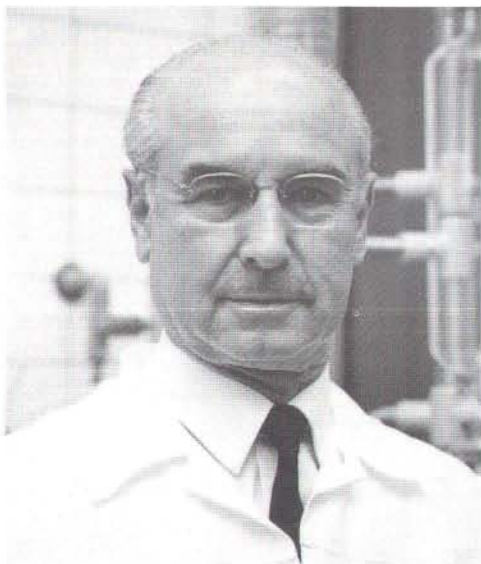


10 en 11. In de jaren veertig ontwikkelde de Zwitserse scheikundige dr A. Hoffman de verbinding LSD (lyserginezuurdiëthylamide). Aanvankelijk bleef de toepassing van deze hallucinogene verbinding beperkt tot de psychiatrische zorg. Eind jaren zestig werd het middel ook een populaire drug. Een kat kan, na toediening van LSD, een grote angst vertonen voor een witte muis.



minerg systeem blijken bijvoorbeeld bij de ziekte van Parkinson, waarbij de motoriek is gestoord.

Gedurende de evolutie heeft het dopaminerge systeem haar activiteit niet alleen maar ten dienste gesteld van de puur motorische activiteit van het dier, maar heeft het in toenemende mate ook zijn diensten aan mentale activiteiten bewezen. Bij de mens en soms ook bij hogere apen is het vaak aanbevelenswaardig – en dat gebeurt dan ook – om niet direct tot handelen over te gaan, doch eerst alternatieve handelingen, inclusief de mogelijkheid van niet-handelen, te overwegen. Hierbij blijkt de neurotransmitter dopamine weer een grote rol te spelen.



11

### Vooruitzichten

De moderne technologie stelt biochemici, elektrofysiologen en andere onderzoekers in staat een indruk te krijgen van de activiteit van de verschillende systemen. De bepaling van afbraakproducten van neurotransmitters, onderzoek aan receptoren, bestudering van de stofwisseling enzovoorts, in samenhang met psychologisch, psychofysiologisch en psychiatrisch onderzoek kunnen ons helpen het ver-

stoorde evenwicht in kaart te brengen. In de kliniek gebeurt dat al, maar ook onderzoek bij gezonde proefpersonen moet meer licht gaan werpen op het gedrag van neuronale en hormonale systemen.

De hoeveelheid kennis die de afgelopen decennia is vergaard over het centrale zenuwstelsel en het functioneren daarvan, is niet gering. De complexiteit van het serotonerge en het dopaminerge systeem, die op zich al uit vele centra bestaan, hun diverse receptor-subtypen en interacties met andere systemen, zal altijd gigantisch blijven. Er is een overvloed aan informatie waarmee de klinische psychiatrie in de verste verte nog geen raad weet, maar enkele structuren beginnen zich af te tekenen.

### Literatuur

Christen Y, Klivington K. Hersenen en gedrag. Maastricht: Natuur & Techniek, 1989.

### Bronvermelding illustraties

CNRI, Parijs: 684-685.  
CIBA-GEIGY BV, Arnhem: 1.  
Rob Huibers/Hollandse Hoogte, Amsterdam: 2, 3.  
Duphar, Weesp: 4.  
J Palacios, Sandoz AG, Basel: 5.  
GW Arbuthnott, University of Edinburgh: 7.  
Pharmazie in unserer Zeit 3/90, VCH Verlagsgesellschaft GmbH, Weinheim (D): 8, 9.  
Archief Natuur & Techniek: 10.  
Sandoz AG, Basel: 11.



In tegenstelling tot veel andere insecten, is het prepareren van bladluizen voor scanning-elektronen-microscopie een lastig karwei. Doordat deze insecten een hoog watergehalte hebben, kunnen ze zelfs bij het kritisch-puntdrogen krimpen en inklappen. Tijdens droging met aceton kan de was op het huidoppervlak oplossen. Dankzij cryo-SEM kunnen onderzoekers opnamen van de niet-ervormde bladluizen verkrijgen waarbij allerlei kleine details behouden zijn.





# CRYO-SEM

## *Zicht op bevroren leven*

Hoe biologische objecten er van zeer dichtbij uitzien, is een vraag die onderzoekers reeds eeuwenlang bezighoudt. Een techniek die helpt deze vraag te beantwoorden, is de scanning-elektronenmicroscopie. Om een goed beeld te verkrijgen moet de onderzoeker het preparaat zorgvuldig voorbereiden. Bij cryofixatie wordt een preparaat zo snel bevroren, dat het water een glasachtige structuur verkrijgt. Daardoor kunnen de onderzoekers objecten bestuderen die de vorm van het levende materiaal zoveel mogelijk hebben behouden.

**A. Boekestein, S. Henstra**

*Technische en Fysische Dienst voor de Landbouw  
Wageningen*



Voordat men biologisch materiaal met een elektronenmicroscopie kan bekijken, moet het een aantal voorbereidingen ondergaan. Een preparaat dat in de microscoop moet worden gebracht, mag bijvoorbeeld geen water bevatten. Eén van de redenen daarvoor is, dat een elektronenstraal een gering doordringingsvermogen heeft en maar een zeer korte afstand door lucht kan afleggen. Evenals de beeldbuis van een TV moet daarom ook het inwendige van een elektronenmicroscopie vacuüm zijn. Water uit een preparaat zou in dat vacuüm snel verdampen en het vacuüm tenietdoen.

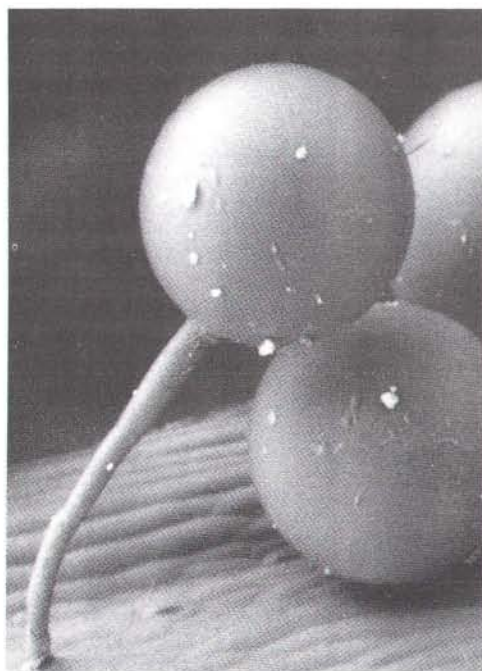
Het gevaar van voorbereidingen is echter dat daarbij de structuur van het object kan veranderen. Het gevolg is dat de onderzoeker niet kijkt naar een weergave van de levende werkelijkheid maar naar een zogenaamd artefact. Hierdoor kan het voor de onderzoeker erg moeilijk worden om de oorspronkelijke structuur van het object af te leiden.

Onlangs verscheen weliswaar een nieuw type scanning-elektronenmicroscopie (SEM) op de markt waarmee ook natte objecten kunnen worden onderzocht (wet-SEM). Alhoewel het scheidend vermogen van deze techniek die van

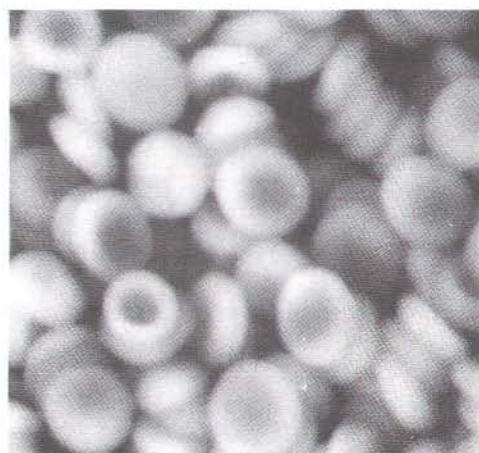
de lichtmicroscopie enigszins overtreft en deze techniek een redelijke scherptediepte laat zien, kunnen onderzoekers met deze techniek niet zo'n bruikbaar beeld verkrijgen als zij gewend zijn met de normale SEM. De ontwikkeling van nieuwe SEM-preparatie-methoden voor biologisch materiaal blijft dus van belang. Vooral het snelle bevriezen van biologisch materiaal biedt goede vooruitzichten.

## Microscopie

Bij microscopie neemt de onderzoeker een object waar door middel van licht- of elektronenstralen. Een stelsel van lenzen zorgt voor de focusering van de stralen en maakt het mogelijk een preparaat bij een bepaalde vergroting waar te nemen. Bij lichtmicroscopie bestudeert de microscopist het preparaat met lichtstralen en zijn de lenzen van glas. Het scheidend vermogen van lichtmicroscopie (de maximaal bereikbare resolutie) is begrensd door de golflengte van het (zichtbare) licht. Objecten die kleiner zijn dan ongeveer  $0,2 \mu\text{m}$ , de helft van de golflengte van het gebruikte licht, zijn niet meer apart waarneembaar.



1



2

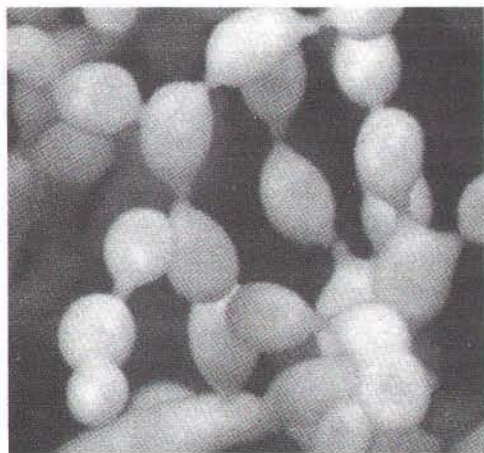
1, 2 en 3. Bij wet-SEM gebruikt men een scanning-elektronenmicroscopie waarin het vacuüm in de buurt van het preparaat is opgeheven. Versnelde elektronen kunnen verstrooid raken door de gasvormige moleculen nabij

het preparaat. Bij kleine vergrotingen, zoals bijvoorbeeld de opname van de uitscheiding op spinazieblad (vergroting: 250 x), valt deze verstrooiing nog niet op en is de verkregen resolutie en scherptediepte goed te noemen (1). Bij



Bij elektronenmicroscopie bestaat de straling uit elektronen. In een potentiaalveld verkrijgen deze elektronen een hoge snelheid. Elektromagnetische lenzen buigen de elektronenstralen af en focuseren de elektronenbundel. De fysicus De Broglie postuleerde in 1923, dat een deeltje met massa  $m$  en snelheid  $v$  een golflengte heeft van:  $\lambda = h/mv$ , waarbij  $h$  de constante van Planck is. Uit deze formule volgt dat elektronen die zijn versneld in de elektronenmicroscopie, een golflengte hebben die veel kleiner is dan die van het zichtbare licht. Met moderne apparatuur verkrijgt men zo een scheidend vermogen van 0,2 nm.

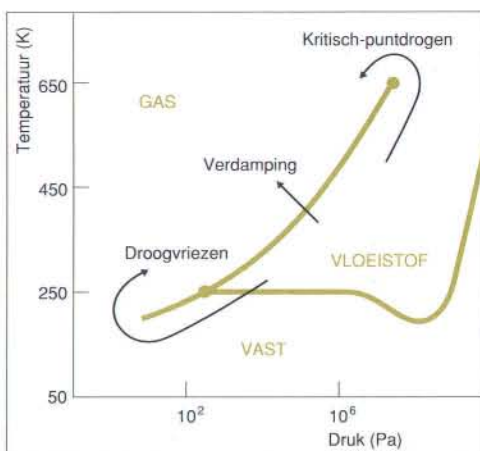
Waar lichtmicroscopie en transmissie-elektronenmicroscopie uitgaan van het bekijken van stralen (respectievelijk licht en elektronen) die dóór een preparaat gaan (statische bundel), tast bij de SEM een zeer fijne bundel het preparaatoppervlak lijn voor lijn af (scannen). Detectoren registreren de teruggekaatste elektronen en secundaire elektronen (elektronen die vrijkomen uit het bestraalde preparaat) en sturen signalen, die afhankelijk zijn van het aantal opgevangen elektronen, naar een videoscherm (zie Intermezzo II).



3

sterkere vergrotingen, zoals te zien in de opnamen van de rode bloedcellen van een muis (2; vergroting: 1800 x) en broodschimmel (3; vergroting: 3000 x) valt het op dat de resolutie slechter is dan bij gewone SEM.

4. Drie gebruikelijke technieken voor het verwijderen van water uit een preparaat zijn kritisch-puntdrogen, verdampen en vriesdrogen.



4

### Geschikte preparaten

Bij lichtmicroscopie behoeft een preparaat gewoonlijk minder voorbereidingen dan bij elektronenmicroscopie. Het hierbij gebruikte zichtbare licht is weinig energierijk en kan het preparaat nauwelijks beschadigen. Het preparaat kan bovendien bij normale druk en temperatuur worden bekeken. Bij elektronenmicroscopie echter mag het preparaat geen water meer bevatten. Bovendien bestraalt een hoog-energetische elektronenbundel het object. Bij de wisselwerking tussen elektronenstralen en het preparaat komt energie vrij in de vorm van warmte. Daardoor kan het preparaat door uitdroging van vorm veranderen, zodat het beeld dat men verkrijgt niet overeenkomt met de vorm van het oorspronkelijke object.

In de scanning-elektronenmicroscopie zijn voor het verwijderen van het water reeds lange tijd enkele technieken ingeburgerd (afb. 4). Het principe is hierbij steeds dat water wordt vervangen door lucht, eventueel na een chemische fixatie die zorgt voor behoud van structuur van het preparaat. Hierbij kunnen vrij losse structuren, zoals extracellulaire polysaccharidelagen, beschadiging oplopen. Eiwitten kunnen eveneens van structuur veranderen. Ook andere informatie die in de cel besloten ligt, zoals de bouw van het cytoskelet en de samenstelling van vacuolevloeistoffen, kan gedeeltelijk verloren gaan tengevolge van deze prepareerhandelingen. Hoeveel schade de gebruikelijke prepareertechnieken veroorzaken

## Water

Bij het invriezen van biologische objecten bevriest men in de meeste gevallen voornamelijk water. Het water in de cel kan veel warmte-energie opnemen en is tevens het medium voor ionen- en warmtetransport. Daarnaast kan water ook een onderdeel zijn van de ultrastructuur en dient het als oplos- en inbedmiddel.

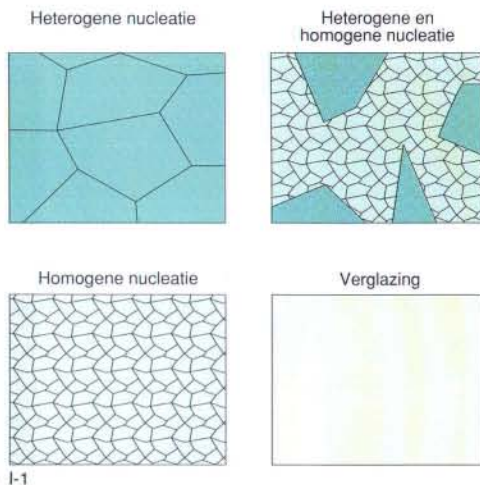
Bij cryofixatie en cryo-elektronenmicroscopie spelen verschillende ijskristalvormen een rol als mogelijk cryo-artefact, waarbij allerlei overgangen (herkristallisaties) voortdurend op de loer liggen als mogelijke oorzaak van vervormingen van het biologisch preparaat.

Als water zich gaat reorganiseren, bijvoorbeeld in kristallijne fasen, zal daarmee ook de ultrastructuur in de cel grondig veranderen. Water dat in de ijsfase overgaat zet uit (ultrastructuren barsten uit elkaar) en kleine ijskristallen kunnen uitgroeien tot grote, waarbij ontmenging van opgeloste vaste bestanddelen plaatsvindt en de ultrastructuur van de cel wordt 'weggeduwd' (afb. I-4).

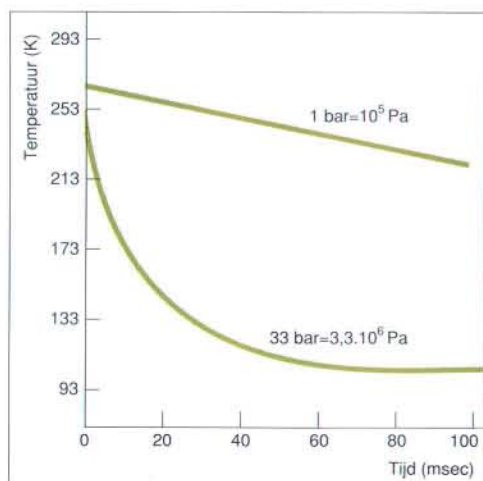
Door nu zeer snel warmte-energie aan het object te onttrekken (superkoelen), ontstaat een situatie van homogene nucleatie (afb. I-1). Het water is dan nog steeds gekristalliseerd, maar de kristallen zijn kleiner dan bij heterogene nucleatie. Een ander effect dat is waargenomen onder invloed van de afkoelsnelheid, is dat de ijskristalvorming verschuift van extracellulair naar intracellulair. Met andere woorden: de watermolekulen hebben bij een beperkte afkoelsnelheid nog tijd om de cel te verlaten en

zich te voegen bij een ijskristal buiten de cel. Bij hogere afkoelsnelheid lukt dit niet meer en ontstaan ook in de cel ijskristallen (tabel).

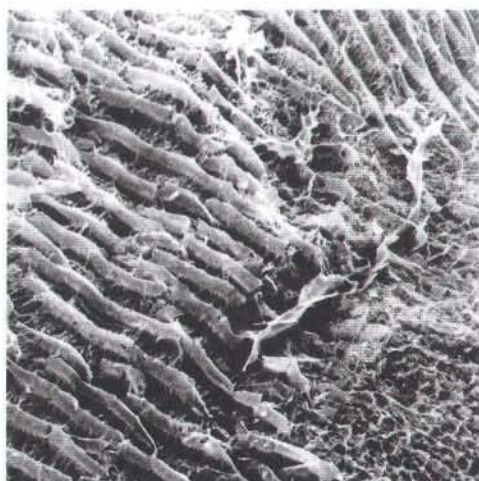
Bij een zeer hoge afkoelsnelheid hebben de watermolekulen niet meer de tijd om netjes in een kristalrooster te gaan zitten en bevriest het water amorf (verglazing). In wezen is dit een sterk onderkoelde vloeistof die gestold en metastabiel is. Onder alle omstandigheden blijft de kristallijne vorm van water energetisch het gunstigste.



I-1

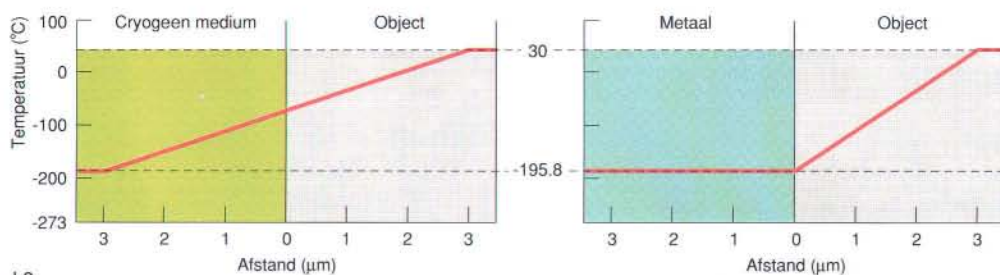


I-3

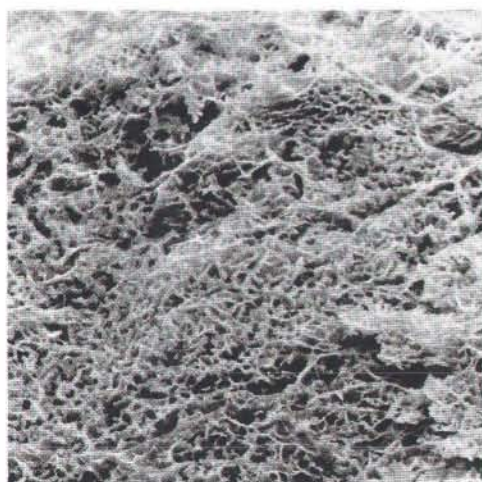


I-4 a



Tabel Kritische koelsnelheden ( $K \cdot \text{min}^{-1}$ )

Monster	Overgang van extracellulaire naar intracellulaire bevriezing	Amorfe bevriezing
Menselijke rode bloedcellen	3000	$10^5 - 10^6$
<i>Chlorella</i> sp. (een groenwier)	0.1-250	$10^5 - 10^6$
<i>E. coli</i> (een darmbacterie)	6	$> 10^4$
Schorsparenchymcellen	10	$2 \times 10^4$
Droge plantenzaden	1-15	$10^3$



I-4 b

I-1. Bij langzame afkoeling van water treedt heterogene kiemvorming op. Een gering aantal ijskiemen vormt grote ijskristallen met variërende afmetingen. Met toenemende koelsnelheid ontstaan meer kiemen die 'levensvatbaar' zijn. Tenslotte is bij homogene nucleatie de afkoeling zo snel geworden dat er vele kleine ijskristallen ontstaan die nauwelijks variëren in afmetingen. Bij nog snellere afkoeling van een preparaat bevriest de beweging van de watermolekulen zonder dat zich een kristalrooster vormt. Daarbij neemt het water een amorfe structuur aan.

I-2. Bij het 'koud-metaal'-invriezen is de temperatuurgradiënt stijler dan bij vloeibaar cryogeen invriezen, zodat tot op grotere diepte van een preparaat de vereiste koelsnelheid wordt verkregen.

I-3. Door te werken bij hogere druk verkrijgt de onderzoeker een snellere afkoeling van het preparaat, waarbij het Leidenfrost-effect wordt onderdrukt.

I-4. Bij te lage afkoelsnelheid ontstaan ijskristallen in de cel die celbestanddelen voor zich uit duwen. Dit resulteert in een onherkenbaar beeld. Vergroting: 630 x.

in de structuur van natuurlijk materiaal kan men slechts vaststellen als men een referentie heeft die ook bij sterke uitvergroting betrouwbare informatie geeft.

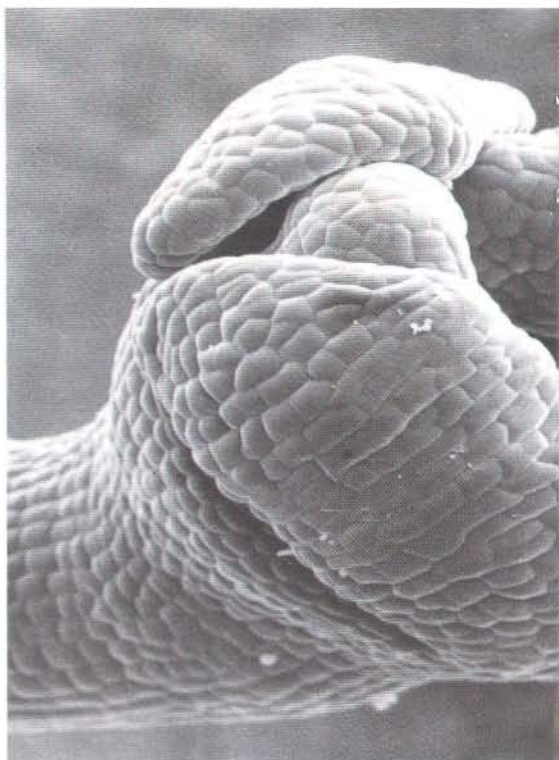
### Cryofixatie en bewerking

Als een object langzaam bevroert vormen zich ijskristallen in het object. Een ijskristalrooster bevat alleen watermolekulen. Andere celbestanddelen — eiwitten, vetten, membranen, koolhydraten — worden voor het ijsfront uitgeduwd en bevinden zich uiteindelijk op de grensvlakken van de ijskristallen. Door cryofixatie, het supersnel invriezen van biologisch materiaal, bereikt men dat het water in en om de cel zo snel bevroert dat de molekulen geen tijd hebben om zich in een kristalrooster te ordenen. Het water neemt een glasachtige structuur aan.

Deze snelle bevroering lukt slechts tot op een bepaalde diepte vanaf het oppervlak. Afhankelijk van het object en de invriesmethode bereikt men diepten van 5 tot 600  $\mu\text{m}$ . In de diepere delen van het object kan de warmte niet zo snel verdwijnen en zullen toch ijskristallen ontstaan. Het voordeel van de cryofixatie is, dat men bij deze methode geen gebruik hoeft te maken van vriesbeschermingsmiddelen (cryoprotectantia) of chemische fixeermiddelen. Deze chemische methoden kunnen namelijk op onvoorspelbare wijze de structuur van een object veranderen.

Indien biologische objecten goed zijn ingevroren, bestaan er diverse technieken waarmee de onderzoeker de structuur van het preparaat en de plaats waar chemische elementen zich bevinden kan onderzoeken met behulp van de elektronenmicroscopie. De bewerkingen zijn onder te verdelen in drie groepen: methoden waarbij water wordt onttrokken aan het preparaat, methoden waarbij het preparaat wordt gebroken of gesneden en methoden waarbij chemicaliën worden toegevoegd aan het te bestuderen preparaat.

De methoden waarbij water wordt onttrokken aan het object, staan beter bekend als vriesdrogen, vriesetsen, sublimatie enzovoort. De opzet van het drogen is om, door het verwijderen van water (ijs), meer van de structuur van de vaste stof te kunnen zien. Ook kan men de opgevallen ruimte in het object opvullen met een inbedmiddel (polymeer).



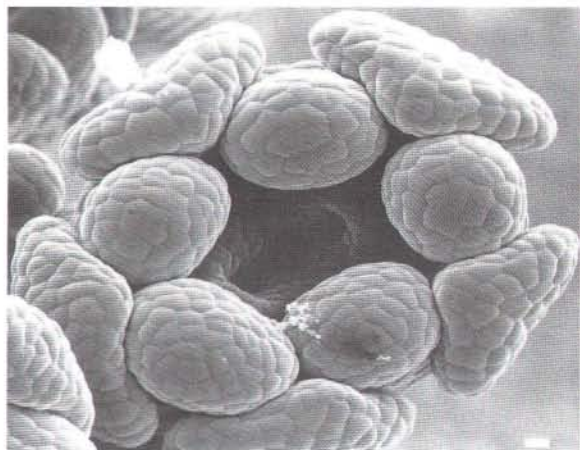
5

De tweede groep methoden, waarbij de onderzoeker het object openbreekt of doorsnijdt, heeft tot doel de dieper gelegen structuren bloot te leggen. Enerzijds kan het object plakje voor plakje worden aangesneden (cryo-ultramicrotomie), waarbij de plakjes vervolgens in bevroren toestand afzonderlijk in een elektronenmicroscopie bij hoge vergroting worden onderzocht. Anderzijds kan de onderzoeker een breuk in het preparaat maken waarna hij het breukvlak enigszins vriesetst om meer reliëf te verkrijgen. Tenslotte maakt hij een koolstofreplica (afdruk) van het oppervlak (afb. 14). Het is ook mogelijk om van een bevroren object een laag van een bepaalde dikte af te frezen met behulp van een sneldraaiend gekoeld diamantje. Hierbij ontstaat dan een gladde doorsnede van het preparaat. Het monster is hierbij ook geschikt voor röntgenmicroanalyse (afb. 7). Bij de wisselwerking tussen de elektronenbundel en het preparaat ontstaat röntgenstraling. Deze straling verstrekt de onderzoeker informatie over de ele-



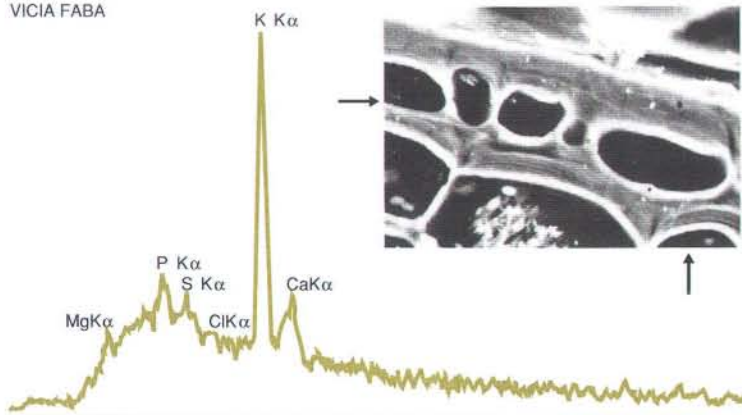


5 en 6. Cryo-SEM-opname van de generatieve delen van een groepje van selderij. De opnamen zijn respectievelijk 375 en 200 maal vergroot. Deze beelden zijn verkregen met secundaire elektronen. Het gebruik van cryo-technieken zorgt voor een goed vorm- en structuurbehoud.



6

VICIA FABIA



7

7. Met een elektronenmicroscop kan men niet alleen beeldopnamen maken, maar ook röntgenanalyses uitvoeren. Naast deze cryo-SEM-opname van een bevroren doorsnede van de peul van *Vicia faba* (tuinboon) staat een röntgenspectrum afgebeeld, waaruit de chemische samenstelling van het met pijlen gemerkte deel van de celwand kan worden afgeleid.

menten die zich bevinden in het bestraalde deel van het object.

Tenslotte kan de microscopist chemicaliën aan het object toevoegen. Dit gebeurt bijvoorbeeld bij het onderwerpen van een object aan

viessubstitutie, waarbij een polymeer het bevroren water uiteindelijk vervangt. Het resultaat is een droog produkt (het water is vervangen) dat op kamertemperatuur verdere bewerking kan ondergaan.

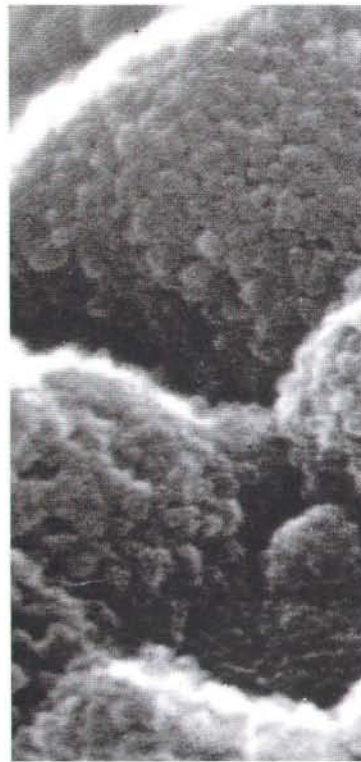
Tot het toevoegen van chemische stoffen rekent men ook het opsporen van bepaalde verbindingen in het object met een antilichaam waaraan een klein gouddeeltje vastzit (goud geeft een groot contrast). Deze gouddeeltjes markeren dan in het elektronenmicroscopische beeld de plaats waar de op te sporen verbinding zich bevindt (afb. 8). Voorwaarde voor het kunnen werken met deze stoffen is dat het biologische materiaal zijn antigeniciteit (immunologische kenmerken) heeft behouden, en dus nauwelijks wijzigingen mag hebben ondergaan.

### Verglaasde toestand

In de biologische elektronenmicroscopie zijn de laatste jaren een aantal methoden ontwikkeld, waarmee een object waaraan geen fixatievloeistoffen of cryoprotectantia zijn toegevoegd in een verglaasde toestand kan worden gebracht (tabel). Het belang van deze ontwikkeling is, dat het biologische voorwerp in al zijn facetten (chemisch en structureel) bewaard blijft, terwijl de onderzoeker dit stukje bevroren leven toch kan bekijken met alle mogelijkheden die de moderne elektronenmicroscopie biedt. Centraal staat hierbij het optimaliseren van het contact tussen een zeer koud (cryogeen) medium en het voorwerp dat wordt bevroren. Bij voorkeur werken de onderzoekers met sterk onderkoelde of zelfs vaste cryogene media. Kokende cryogene media (bijvoorbeeld kokende stikstof) vormen namelijk bij contact met een warm object zeer snel een warmte-isolerend gashuidje rond dit object dat vervolgens het snelle afkoelen vertraagt (Leidenfrost-effect).

8. Het oppervlak van een karperspermacel heeft men gelabeld met gouddeeltjes van 30 nm diameter die zijn gekoppeld aan antilichamen. Bij het bestuderen van dit preparaat kan de microscopist afbeeldingen maken met secundaire elektronen (a), teruggestrooide elektronen (c) en een combinatie van beide (b).

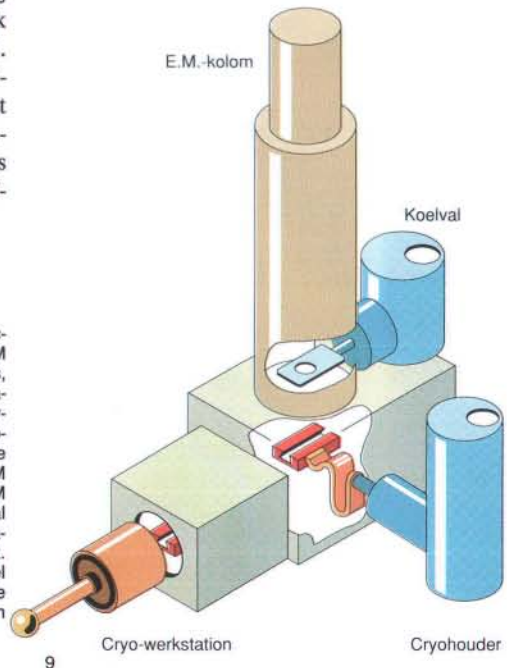
9 en 10. Bevroren objecten worden bij cryo-SEM uitgewisseld via een sluis, het zogenoemde werkstation en geplaatst in de cryohouder, een koude objecttafel. Alle normale functies van 'warme' SEM blijven ook bij cryo-SEM behouden. De koelval heeft een lagere temperatuur dan het preparaat. Daardoor zal eventueel vocht voornamelijk op de koelval condenseren en niet op het object.



8a

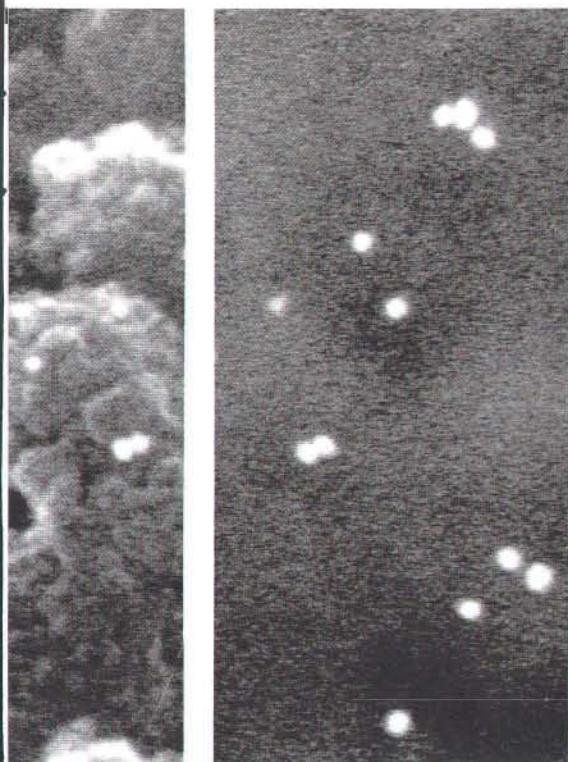


8b



9





8c

11. Na montage van een biologisch object (slablad) op een teflon-projectiel, kan men het preparaat door het koelmedium schieten. Daarmee bereiken onderzoekers dat het preparaat gedurende elk kort tijdsinterval omringd is met vers koud medium.



11



10

In de meest simpele opstelling gebruikt de onderzoeker een container met cryogeen medium die hij koelt met een nog kouder medium. Zo kan hij bijvoorbeeld propaan (kookpunt 231 K, smeltpunt 84 K) koelen met vloeibare stikstof (kookpunt 77 K). Ook kan vloeibare stikstof door adiabatische verdamping (waarbij geen warmte-uitwisseling met de omgeving plaatsvindt) tot op het smeltpunt afkoelen (63 K) zodat het overgaat in de vaste fase. De cryofixatiehandeling bestaat dan slechts uit het onderdompelen van een voorwerp in het koelmedium, in dit geval smeltende stikstof.

### Afgevuurde preparaten

Omdat deze behandeling slechts een lage afkoelsnelheid en reproduceerbaarheid geeft, was een verdere verfijning van de basistechniek noodzakelijk. Zo is er apparatuur ontwikkeld die het te onderzoeken object letterlijk in het medium schiet (afb. 9). Verhoging van de druk tot een bepaalde kritische waarde



(voor stikstof circa  $3,3 \cdot 10^6$  Pa of 33 atmosfeer) gaat het Leidenfrost-effect verder tegen. Het object staat in een dergelijke opstelling in elk ultrakort tijdsinterval in contact met 'vers' cryogeen medium. De onderzoekers hebben zo afkoelsnelheden kunnen registreren van circa  $10000 \text{ K} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Bij nog verdere drukverhoging kan men handig gebruik maken van een 'dal' in de smeltlijn van water bij ongeveer  $2,1 \cdot 10^8$  Pa (afb. 13). Deze druk is zo hoog, dat hij de overgang van vloeibaar water naar de kristallijne fase, waarbij het volume toeneemt, tegengaat. Het 'dal' in de smeltlijn betekent bovendien een forse smeltpuntsverlaging die, gecombineerd met een snelle afkoelingsmethode, een nog verdere smeltpuntsdaling van 273 K tot zo'n 190 K kan veroorzaken. Door het onderdrukken van de kristallisatie van water behoeft er ook minder (kristallisatie-)warmte te worden afgevoerd, wat de afkoelsnelheid verder kan verhogen. De omstandigheden waaronder het tere biologische object bevroest zijn echter zo extreem dat een zeer precieze timing noodzakelijk is. De drukopbouw tot  $2,1 \cdot 10^8$  Pa moet ongeveer 15 ms voor de bevroering plaatsvinden; gebeurt dit eerder, dan treden mechanische beschadigingen in het materiaal op. Als daarentegen de bevroering te vroeg zou komen ontstaat schade door ijskristallisatie.

Het gehele procédé is relatief snel en het voorwerp kan tot op grote diepte glasachtig bevroren ( $100\text{--}600 \mu\text{m}$ , afhankelijk van het objectmateriaal). Bij de meeste andere invries-technieken bevroren slechts laagjes van hooguit enkele tientallen micrometers op de gewenste wijze.

Een derde benadering maakt gebruik van de goede thermische geleidingseigenschappen van metalen. Men kan bijvoorbeeld een blok koper koelen met vloeibare stikstof en vervolgens een object met het blok in contact brengen. De temperatuurgradiënt zal dan relatief groot zijn, omdat het metaal de warmte veel beter geleidt dan het vloeibare medium (afb. 1-2). Bij deze methode gebruiken de onderzoekers zeer glad gepolijste metaaloppervlakken om een zo goed mogelijk thermisch contact te bewerkstelligen.

Naast deze methoden zijn er nog enkele speciale methoden ontwikkeld voor bijvoorbeeld dunne films van biomateriaal en monocellen. De cryofixator die men voor deze objec-

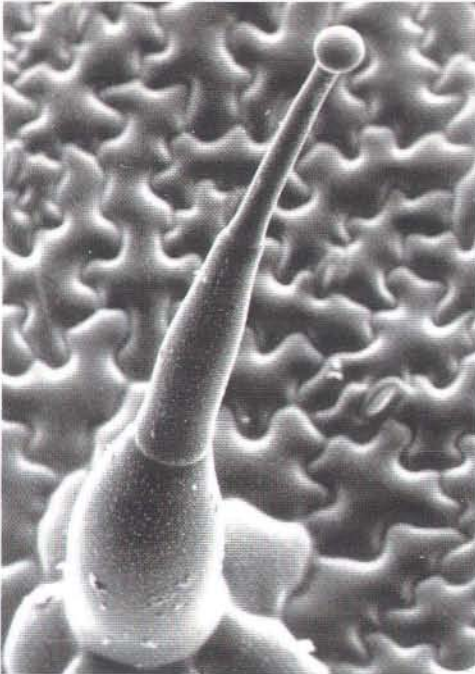
ten toepast, spuit een straal (*jet*) van zeer koud propaan tegen beide zijden van het object zodat dit goed bevroert.

### Cryo-SEM

Na de cryofixatie is er een aantal mogelijkheden om het object verder te bewerken. Indien het oppervlak van het object het onderwerp van studie is, kan men volstaan met het aanbrennen van een geleidend laagje edelmetaal of koolstof op het oppervlak en het 'insluizen' van het object in de elektronenmicroscop. Als de interesse van de onderzoeker het inwendige van biologische objecten betreft, dan zal hij het bevroren object letterlijk moeten openbreken. Hiervoor zijn allerlei hulpmiddelen ontwikkeld die de onderzoeker toepast in een werkstation: een ruimte onder vacuüm waar een bevroren object een aantal bewerkingen ondergaat voorafgaand aan het maken van een opname. Deze werkstations (afb. 11) bevinden zich meestal in de nabijheid van de elektronenmicroscop of zitten daaraan vastgekoppeld.



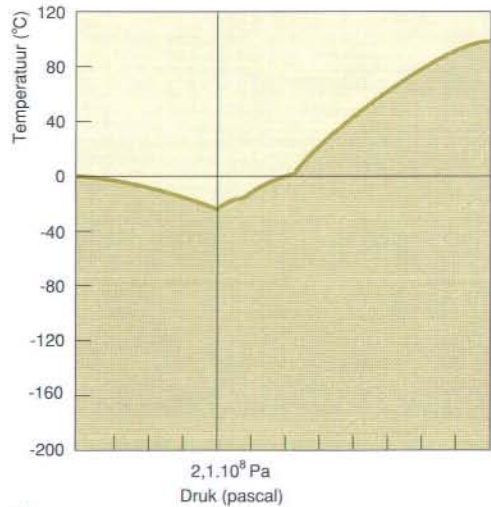




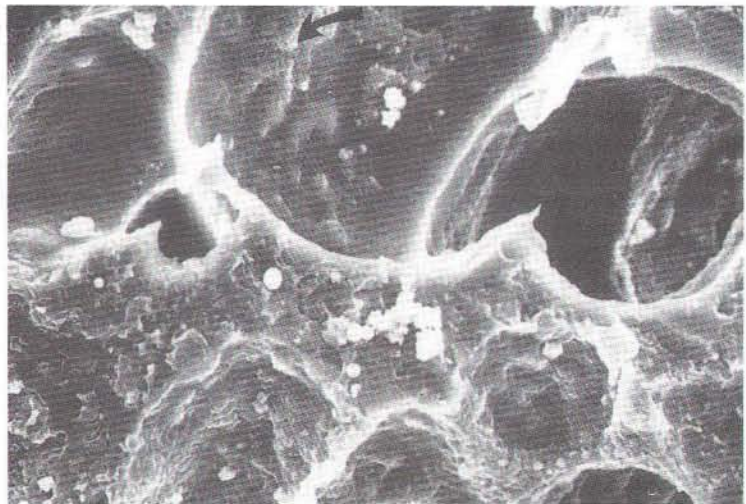
12

12. Een cryo-SEM-opname van een nachtschadeblad toont een bladhaar tegen een achtergrond van het bladooppervlak. Vergroting: 110 x.

13. Dankzij het dal in de smeltlijn van water bij een druk van  $2,1 \cdot 10^8$  Pa wordt een grote vriespuntsdaling bereikt.



13



15

14. Na hoge-drukcryofixatie van een gistcel werd deze gebroken. In een TEM verkreeg men vervolgens een opname van een koolstofreplica van de gistcel.

15. Door een goede cryofixatie zijn veel tere preparaten goed te bestuderen. In het longweefsel van een muis zijn de longblaasjes goed zichtbaar. Bij chemische fixatiemethoden had-

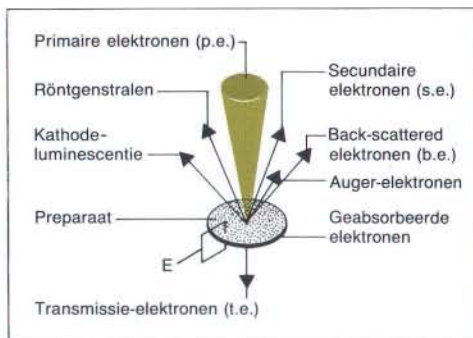
den onderzoekers vaak last van vervormingen van dit weefsel, waarbij haarvaten en longblaasjes in elkaar klapten. Vergroting: 2000 x.

## De scanning-elektronenmicroscop en veldemissie

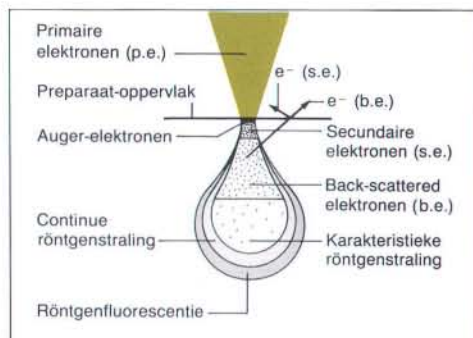
In de scanning-elektronenmicroscopie tast een fijn gefocuseerde elektronenbundel een deel van het oppervlak van een object af volgens een lijnvormig patroon. De afbeelding van dat oppervlak vindt plaats door het detecteren van de secundaire (uit het object vrijgemaakte) of teruggestrooide (weerkaatste) elektronen. De gemeten intensiteit van deze elektronen wordt vervolgens doorgegeven aan een signaal dat synchroon een zelfde rasterbeweging uitvoert over het scherm van een kathodestraalbuis.

De secundaire elektronen komen uit de bovenste lagen in het object, hebben een relatief lage energie (circa 10 eV) en zijn verantwoordelijk voor het ruimtelijk effect in SEM-beelden. De teruggestrooide elektronen zijn bundelelektronen die een relatief hoge energie bezitten. De intensiteit van terugkaatsing is afhankelijk van de plaatselijke elektronendichtheid in het object, oftewel het gemiddelde atoomnummer in het bestraalde gebied. Derhalve geven deze elektronen een semikwantitatieve samenstellingsindruk van het object (afb. II-2).

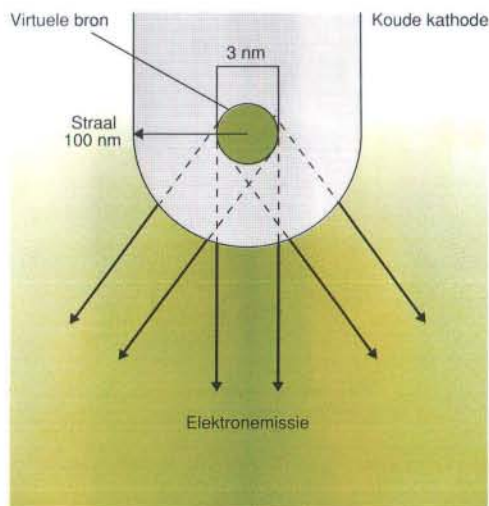
De elektronenbron is een dunne haarspeldvormige wolframdraad die wordt verhit doordat er een stroom doorloopt. Deze draad fungeert tevens als kathode in een tweede, groter spanningstraject. Door het spanningsverschil (de versnellingspanning) worden de elektronen 'versneld' en krijgen daarbij een bepaalde energie mee (bijvoorbeeld 25 keV). Nadat de primaire elektronenbundel is gevormd, wordt deze verder beïnvloed door elektro-



II-1



II-2



II-3

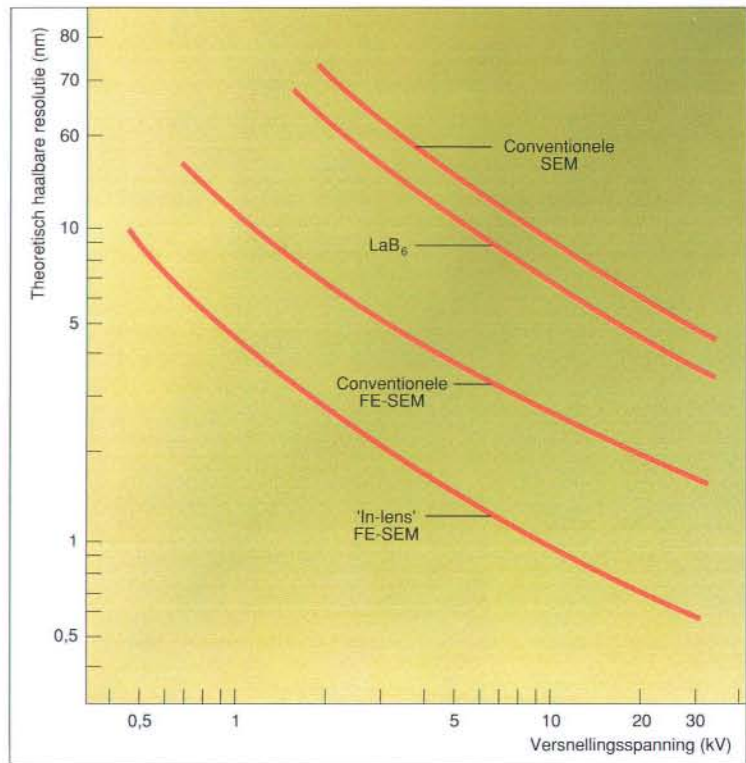
II-1. Tijdens de bestraling van het preparaat door de primaire elektronenbundel komen diverse stralingsvormen en elektronen vrij, die informatie verschaffen over het object.

II-2. In het zogenaamde druppelmodel van penetratie is zichtbaar dat de secundaire elektronen uit de bovenste lagen van het preparaat komen. De weerkaatste elektronen beschikken over een grotere energie.

II-3. De punt van de veldemissiekathode is een bolvormig oppervlak met een straal van 100 nm. De elektronen komen niet vrij door verhitting van de kathode maar door een zeer sterk elektrostatisch veld. De zo verkregen elektronenbundel is zeer smal, zodat een goede resolutie wordt verkregen.



II-4. Het theoretisch haalbare scheidend vermogen is afhankelijk van de gebruikte elektronenbron en de aangelegde versnellingsspanning. De veldemissie-SEM, en vooral de veldemissie met 'in-lens'-objecthouder, heeft geleid tot een behoorlijke verlegging van de grenzen. Tot een spanning van ongeveer 5 kV kan men ongecoate monsters bestuderen. Bij hogere spanningen dient de onderzoeker de preparaten te voorzien van een metaal- of koolstoflaag.



II-4

magnetische lenzen, afbuigspoelen en diafragma's. De uiteindelijke bundeldiameter wordt in belangrijke mate bepaald door de werking van de elektronenbron. Dit gegeven heeft dan ook uiteindelijk veel invloed op het haalbare scheidend vermogen in de SEM. Typische waarden voor dit scheidend vermogen zijn, met een wolframdraad als 'hart' van een conventioneel elektronenkanon, 8-12 nm. Objecten kunnen vrij groot zijn (tot meestal enkele centimeters) maar moeten, als deze elektrisch slecht geleiden (alle biologische objecten), zijn voorzien van een dun laagje geleidend materiaal (bijvoorbeeld goud).

Door toepassing van andere typen elektronenbronnen, zoals een bron bestaande uit LaB<sub>6</sub>, kan men de specificaties van de SEM verbeteren. Bij het gebruik van een veldemissie-elektronenbron kan het scheidend vermogen zelfs verbeteren met een factor 10 tot circa 1 nm, omdat bij dit type elektronenbron een veel smallere en intensere elektronenbundel ontstaat. Bovendien gaat deze elektronenbron veel lan-

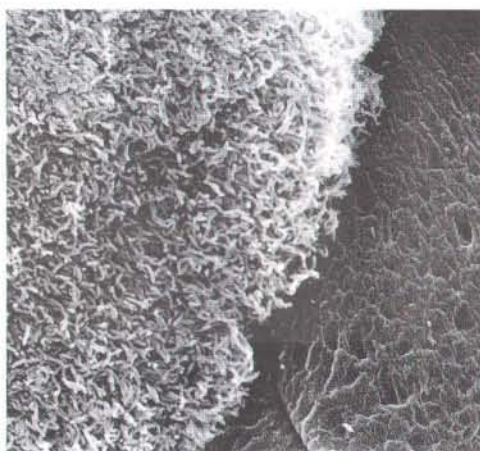
ger mee dan de normale wolframdraad. Daar staat tegenover dat het vacuüm van de microscoop aanzienlijk beter moet zijn, wat hoge kosten met zich meebrengt. De toepasbare versnellingsspanningsreeks is bij een veldemissie-elektronenbron uitgebreid tot aanzienlijk lagere spanningen dan gebruikelijk was (afb. II-4). Dit heeft als belangrijk voordeel dat in veel gevallen een coating van geleidend materiaal overbodig is, wat het maskeren van zeer fijne oppervlakedetails uitsluit. Bovendien kunnen bij dergelijk lage versnellingsspanningen de werkelijke oppervlaktestructuren zichtbaar worden gemaakt met behoud van een goed scheidend vermogen.

Het uiteindelijke doel van de bewerkingen is het inbrengen van het bevroren biologische object, al of niet opengebroken, in de SEM. Omdat het object ook in de SEM bevroren moet blijven, moet de objecttafel zijn voorzien van een koelinrichting en een sluis die de onderzoeker gebruikt om bevroren objecten in de microscoop te brengen. De objecttafel wordt daarbij gekoeld door middel van vloeibare stikstof, waarbij warmte wordt afgevoerd door middel van geleiding via metaal. De objecttafel bevat tevens een verwarmingsmecha-

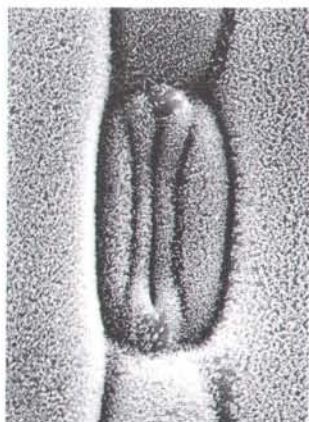
nisme terwijl een elektronisch circuit voor temperatuurstabilisatie zorgt. Verder is er altijd een nog kouder lichaam in de buurt van het object om condensatie van water op het koude object tegen te gaan. De cryo-SEM is uit economische overwegingen meestal uitgerust met een koeling met vloeibare stikstof. Koeling met vloeibaar helium (kookpunt 4,25 K) biedt weliswaar een nog betere bescherming tegen plaatselijke opwarming door inwerking van de elektronenbundel, maar dit gegeven weegt meestal niet op tegen de hogere kosten.



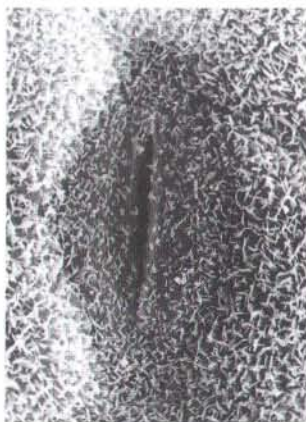
16a



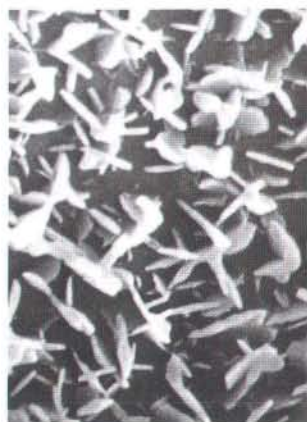
16b



17a



17b



17c

16. Afhankelijk van de preparatietechniek verkrijgt men een ander beeld van een preparaat. Kolonies van slijmvormende bacte-

riën zijn hier onderworpen aan cryofixatie (16a) en conventionele fixatie (chemische fixatie en kritisch puntdrogen) (16b).

17. Afhankelijk van de gebruikte vergroting van een cryo-SEM-preparaat, bestudeert men de structuur van een huidmondje (17a;

vergroting: 580 x, 17b; vergroting: 1160 x) of de waslaag op het blad (17c; vergroting: 5800 x).



Door de goede cryofixatietechnieken verkrijgt men thans veel meer nuttige informatie over de structuur van biologische voorwerpen dan voorheen. Een goed scheidend vermogen van de SEM is dan ook nodig om alle details die een object bevat te kunnen waarnemen. Hierbij loopt men, als men het oppervlak met een geleidend metaallaagje bedekt, het risico om bepaalde structuurkenmerken letterlijk en figuurlijk te maskeren en aan de SEM-waarneming te onttrekken. Een mogelijke oplossing kan in dat geval het werken met lage versnellingsspanningen in de SEM bieden. Bij deze techniek kan de geleidende laag achterwege blijven en wordt de werkelijke oppervlaktestructuur afgebeeld. De veldemissie-SEM (zie Intermezzo II) verschaft ons momenteel een oplossing voor het verkrijgen van zowel een hoger scheidend vermogen als een mogelijkheid tot beeldvorming bij lage spanning.

### Toepassingen van de cryo-SEM

De cryo-SEM werd aanvankelijk vooral ingezet voor die onderzoeksproblemen waar geen alternatieve onderzoeksmethode voor aanwezig was. Hij was bijvoorbeeld bij uitstek geschikt voor het onderzoek van zeer waterige en 'losse' structuren, objecten waar vorm- of maatveranderingen rigoreus moesten worden vermeden en onderwerpen waar behoud van concentraties van diffundeerbare kationen zoals kalium, voorop staat. Met andere woorden: men moest een goede reden hebben om een geavanceerde techniek als cryo-SEM los te laten op een biologisch onderzoeksprobleem.

De trend zal in de toekomst duidelijk anders zijn; men zal een goede reden moeten hebben om bij verschillende onderzoeksvraagstellingen nog gebruik te maken van natchemische fixatie gevolgd door conventionele droogmethoden. De cryo-SEM methode is namelijk vrijwel altijd sneller (en dus goedkoper) dan de andere methoden terwijl bij correcte uitvoering de resultaten meer het stempel van artefactvrij verdienen dan de op conventionele wijze geprepareerde objecten.

Toch zal men ook in de cryo-elektronenmicroscopie beducht moeten zijn op artefacten. Vooral herkristallisatie van water in het object in het werkstation of de SEM speelt een rol. Voorts bevindt de cryo-elektronenmicroscopie zich wat betreft de beeldinterpretatie voor ver-

schillende onderwerpen nog in de beginfase. Men kan de elektronenmicroscopische beelden feitelijk alleen vergelijken met beelden die bij dezelfde vergroting met een andere afbeeldingstechniek zijn verkregen. Vergelijking met conventionele EM-beelden ligt voor de hand, maar het is even zinvol om te vergelijken met opnamen die zijn verkregen met behulp van nieuwe technieken als bijvoorbeeld confocale-scanning-lasermicroscopie of scanning-tunneling-microscopie.

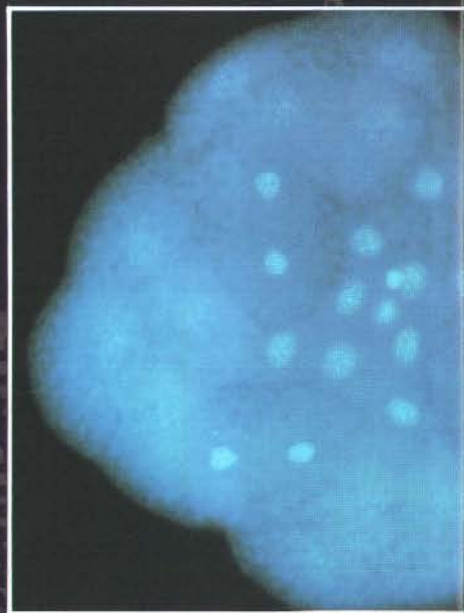
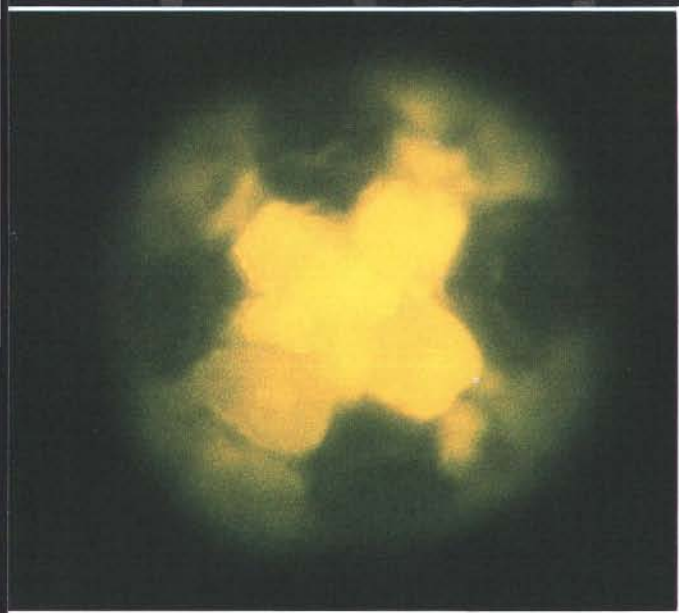
Cryo-scanning-elektronenmicroscopie is een microscopische onderzoeksmethode die zich vooral de laatste jaren stormachtig heeft ontwikkeld. Cryofixatieprocedures en een aantal verdere cryo-prepareermethoden zijn tegenwoordig goed inzetbaar in het moderne ultrastructurele of celbiologische laboratorium. Met cryo-SEM staat het biologische microscopische onderzoek een snelle methode ter beschikking die op dit moment de meeste kans biedt op beelden van reële ultrastructuren. In combinatie met veldemissie-SEM bij lage versnellingsspanning biedt cryo-SEM uitzicht op een verdere ontrafeling van de cellulaire ultrastructuur zoals membraanstructuren en genetisch materiaal.

### Literatuur

- Jongebloed WL, Kalicharan R. Ontwikkelingen in de elektronenmicroscopie - Detectie van steeds kleinere details. *Natuur & Techniek* 1983; 51: 6, 412-431.  
Robards AW, Sleytr UB. Low temperature methods in biological electron microscopy. Amsterdam, Elsevier, 1985.

### Bronvermelding illustraties

- Bio-Rad, Veenendaal: pag. 696-697, 15.  
MSI Europe, Tilburg: 1, 2, 3.  
De overige afbeeldingen zijn afkomstig van DLO-TFDL te Wageningen, met dank aan:  
R. Booy/DLO-CABO: 5, 6, H.M. Dekhuijzen en D.R. Verkerke/DLO-CABO: 7, L. Timmermans/LUW: 8, H. de Ruiter/DLO-CABO: 12, 17 en W. van Doorn/DLO-ATO: 16.



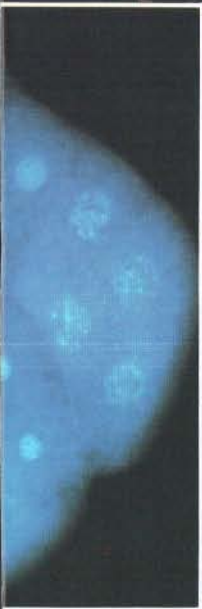
**J.A.M. van den Biggelaar**  
**F. Serras**

*Vakgroep Experimentele Dierkunde,  
 Rijksuniversiteit Utrecht*

De poelslak en de napslak vertonen allebei het embryonale stadium met het slakkenkruis, een kruisvormige figuur van kleine cellen die ontstaat als de cellen op de 'hoeken' van het embryo zich gaan specialiseren. Het blauwe embryo is dat van een napslak, van boven gezien. Het gele kruis is het slakkenkruis van een poelslak. De kleur is afkomstig van een kleurstof die één cel van het kruis werd ingespoten en zich verspreidde over het hele embryo, op de hoekcellen na.



# GROEIENDE HOKJESGEEST



Een bevruchte eicel bezit het vermogen een embryo te vormen. Door een reeks celdelingen ontstaan er nieuwe generaties van cellen, die geleidelijk het vermogen verliezen om elk afzonderlijk nog tot een embryo uit te groeien. De cellen specialiseren zich in de vorming van slechts een enkel fragment uit het grotere geheel; alleen gezamenlijk zijn ze in staat een embryo te vormen. Het is dan ook niet verwonderlijk dat de cellen vanaf het prille begin een communicatienetwerk opbouwen. Aanvankelijk is dat één ononderbroken communicatiesysteem. Daarna gaan er zich echter compartimenten van cellen aftekenen als voorlopers van een specifiek onderdeel van het embryo. Van nu af wordt alleen de communicatie tussen lotgenoten van hetzelfde compartiment ongewijzigd voortgezet, en neemt de communicatie tussen de compartimenten geleidelijk af.

***compartimenten in een embryo***

Er is veel onderzoek gedaan naar de wijze waarop een embryo ontstaat. Zo zijn er *chimaere* embryo's gemaakt door cellen van twee genetisch verschillende embryo's met elkaar te combineren. In veel gevallen ontstaat er uit een dergelijke combinatie slechts één embryo. Doordat de cellen van beide embryo's onderling goed zijn te onderscheiden, kun je zien dat een orgaan niet ontstaat uit de gezamenlijke nakomelingen van één enkele cel, maar uit een groep van verschillende cellen, ongeacht hun oorsprong.

Verder weten we dat zogenaamde *regelgebieden* volgens een vast patroon bepaalde gebieden voorbestemmen om bepaalde onderdelen van het embryo te gaan vormen. De vraag is nu hoe dergelijke gebieden ontstaan en hoe het embryo in steeds kleinere compartimenten wordt onderverdeeld.

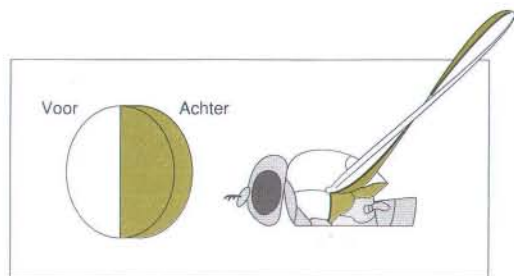
### Ontwikkelingscompartimenten

Een ontwikkelingscompartiment is een groep cellen die bestemd is om een bepaald fragment van het lichaam te gaan vormen; daarmee gaat het vermogen van die cellen om een ander fragment te vormen verloren. Zodra de opdracht om een bepaald deel van het embryo te vormen definitief is geworden, onderscheiden

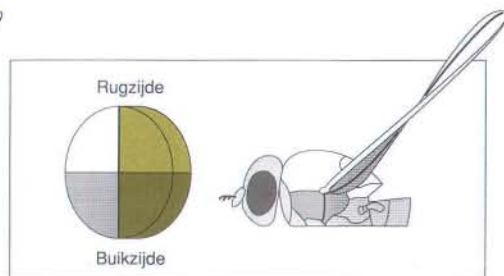
ke strategie zijn. Met het uitvallen van één cel zou daardoor de aanleg van een compleet lichaamsdeel zijn verdwenen. Cellen krijgen dan ook niet individueel, maar als groep de vorming van een fragment van het lichaam toebedeeld, zodat ze eventueel de taak van uitgevallen zustercellen kunnen overnemen.

Dat elk ontwikkelingscompartiment uit cellen van verschillende oorsprong is opgebouwd, blijkt duidelijk bij de ontwikkeling van de vleugel van het fruitvliegje *Drosophila*. De groep cellen waaruit de vleugel ontstaat, vormt een zogenaamde *imaginaalschijf*. De nakomelingen van deze groep cellen kunnen zich aanvankelijk zonder enige beperking over het gehele areaal van de schijf verspreiden. Maar vanaf een bepaalde fase is dat niet meer mogelijk. Dan blijken de cellen uit het voorste gedeelte nog slechts bij te dragen aan de opbouw van de voorste helft, en de cellen uit het achterste gedeelte aan de achterste helft van de vleugel. Kennelijk ontstaat er een scheidslijn, waardoor de aanvankelijk homogene verzameling cellen in een voorste en een achterste helft uiteenvalt. Grensoverschrijdende celverplaatsingen blijven voortaan achterwege.

Binnen beide delen afzonderlijk wordt aan de richting waarin de cellen zich uitbreiden voorlopig geen grens gesteld. Na enige tijd zal



1a



b

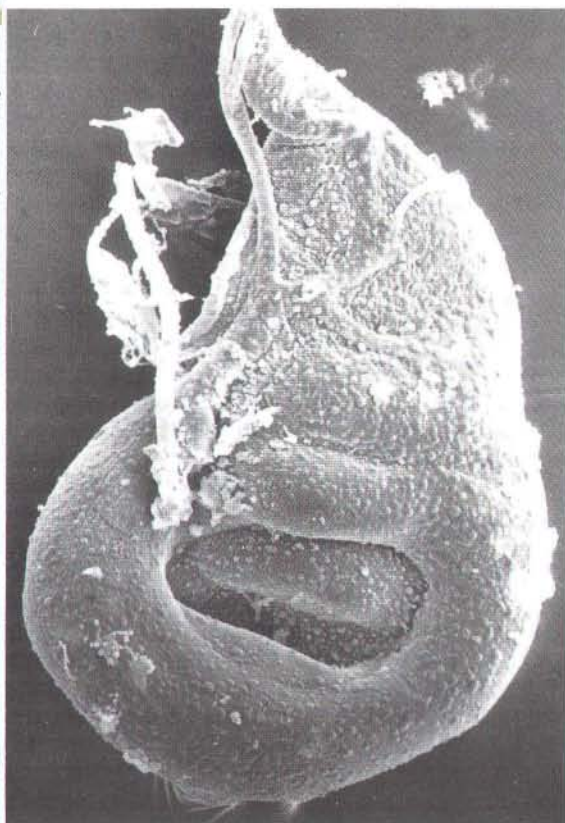
de nakomelingen van de cellen in zo'n compartiment zich voortaan als groep van die van een ander compartiment. Ze respecteren de compartimentsgrenzen en zullen zich niet meer mengen met cellen uit naburige compartimenten, die een andere taak hebben.

Het onderzoek aan chimaeren heeft aangetoond dat een ontwikkelingscompartiment niet kan ontstaan door één enkele cel daartoe voor te bestemmen. Dat zou trouwens een gevaarlijk-

echter binnen elke helft een nieuwe scheidslijn ontstaan, die door de nakomelingen onder en boven de barrière in acht wordt genomen. Deze 'familiegrens' blijkt samen te vallen met de verdeling van beide helften in een compartiment dat het bovenste deel van de voorste vleugelhelft zal vormen, en een dat het onderste deel gaat vormen.

Op dezelfde wijze wordt de achterste vleugelhelft in een bovenste en een onderste com-





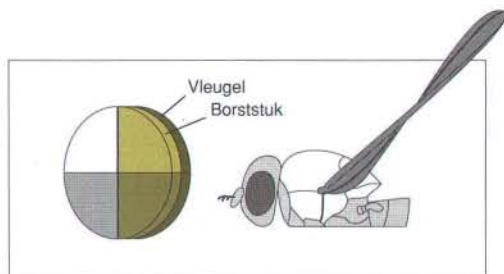
2



3



4



c

1, 2, 3 en 4. De onderdelen van een volwassen fruitvlieg ontwikkelen zich uit de imaginaalschijven (2), embryonale structuren die zich in het popstadium van de vlieg omvormen tot volwassen organen. In de larve komt een reeks van die schijven voor, die paarsgewijs (linker- en rechterhelft) uitgroeien tot één onderdeel van de vlieg. Tijdens de ontwik-

keling scheidt elke schijf zich langs diverse assen in een aantal compartimenten (1). De cellen uit die compartimenten vormen later een deel van een onderdeel. Met een immunologische kleuring is in 3 het rugzijde- en in 4 het buikzijdecompartiment van een imaginaalschijf zichtbaar gemaakt.

partment verdeeld. Opnieuw kunnen de cellen zich in elk onderdeel in elke willekeurige richting uitbreiden, totdat na verloop van tijd een derde familiegrens ontstaat. Die verdeelt elk van de reeds gevormde compartimenten in een naar het lichaam toe- en een van het lichaam afgekeerd compartiment.

Bij elke stap in de compartimentatie van het embryo verliezen de cellen in de afzonderlijke compartimenten het vermogen om bij te dragen aan de opbouw van een ander compartiment. Met het toenemen van de compartimentatie neemt de variatie in ontwikkelingsmogelijkheden af.

### Aanmaak van cellen

De compartimentsgewijze organisatie van het embryo gaat tevens gepaard met een regulatie van het aantal cellen per compartiment. Sommige compartimenten nemen namelijk een groter deel van het embryo voor hun rekening dan andere. Dit impliceert dat er tussen de afzonderlijke compartimenten verschillen moeten bestaan in de snelheid waarmee nieuwe cellen zich vormen.

Een recent onderzoek naar de snelheid waarmee in embryo's van *Drosophila* cellen worden aangemaakt, bevestigde dit vermoeden. Ruim voordat de ontwikkelingscompartimenten verschillen in specialisatie vertonen, is er al een patroon te herkennen van domeinen die meer of juist minder celdeling vertonen.

Deze waarneming vormt een extra ondersteuning voor de veronderstelling dat het hier om een regelmechanisme gaat dat zowel de

5. Een volwassen poelslak zet een legsel af. In de gelatineuze streng zijn de kapsels zichtbaar waarin zich telkens één bevruchte eicel bevindt. Die tekenen zich af als gele stipjes. De embryonale ontwikkeling speelt zich af in de eistreng.



5

aanmaak als de specialisatie van cellen stuurt. Verschillen in celvermeerdering gaan vooraf aan verschillen in celspecialisatie; beide worden binnen een compartiment gereguleerd. Het ziet er naar uit dat een verschil in delingssnelheid binnen een verzameling cellen voorafgaat aan een verschil in ontwikkelingsrichting. Centra met een lage celdelingsfrequentie zijn vrijwel steeds centra met een vroege celspecialisatie.

#### Regulatie van de groei

Op de een of andere manier moeten cellen 'weten' wanneer hun compartiment de juiste grootte heeft bereikt en ze tot specialisatie moeten overgaan. Hoe kunnen cellen dat weten? Het ligt voor de hand te denken aan een regelsysteem waarbij de delingsfrequentie automatisch afneemt met de toename van het aantal cellen. Zo'n regelsysteem, dat afhanke-

lijk is van de grootte van de celpopulatie, is in principe mogelijk wanneer elke cel een bepaalde stof zou produceren die de celdeling bevordert. Zodra de concentratie van die stof een kritische waarde heeft overschreden, treedt automatisch celdeling op.

Doordat cellen in een celpopulatie vrijwel nooit gelijktijdig delen, zullen de cycli waarin zij deze celdelingstimulerende stof produceren niet in fase zijn. Wanneer nu deze stof van cel naar cel kan diffunderen, zal met de toename van het aantal cellen de concentratie van deze stof in de afzonderlijke cellen steeds moeilijker de vereiste kritische waarde kunnen bereiken, dus treedt er minder celdeling op. Welnu, communicatie tussen cellen met behulp van stoffen met een laag moleculair gewicht is mogelijk dank zij *gap-junctions*; dit zijn intercellulaire communicatiekanalen die de vrije uitwisseling van molekulen mogelijk maken (zie Intermezzo I).



## Kankercellen in toom

Hoe de regulatie binnen een groep cellen in zijn werk gaat, blijkt heel duidelijk uit de wijze waarop de celdeling wordt gereguleerd in een kweek, die bestaat uit een combinatie van normale weefselcellen en van kankercellen. Het delingsritme van de kankercellen is op een kwaadaardige wijze ontwricht. Dit kwaadaardige karakter komt niet tot uiting zolang de kankercellen via gap-junctions met normale cellen communiceren. Kennelijk is er een delingremmende stof in het spel die vanuit de normale cellen naar de kankercellen diffundeert en daar de celdeling remt. Het kan ook

zo zijn dat de kwaadaardige cellen een delingstimulerende stof produceren, die via gap-junctions naar de normale cellen weglekt. De kritische concentratie die voor celdeling vereist is, wordt dan niet meer bereikt.

Worden nu aan deze kweek stoffen toegevoegd die de gap-junctions blokkeren, dan stijgt de frequentie waarmee de kankercellen zich delen. De delingsfrequentie is bovendien afhankelijk van de verhouding van normale en kankercellen. In een kweek waarin de normale cellen in de minderheid zijn, dwingen de kankercellen hen sneller te delen dan normaal.

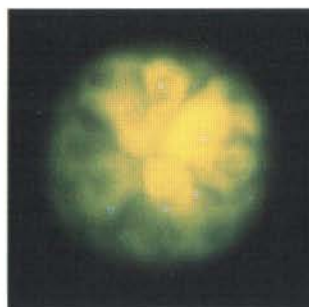
De belangrijkste conclusie uit deze waarnemingen is dat beide celtypen slechts hun eigen



6



7



8



9

6, 7 en 8. In het tweecellig stadium (6) is er nog geen communicatie tussen de cellen van een poelslakembryo. Na injectie van een fluorescerende kleurstof in één van beide cellen treedt geen diffusie op naar de andere cel: er zijn nog geen gap-junctions, of ze zijn gesloten. Dat verandert na de tweede deling. Van het vier- (7) tot en met het vierentwintigcellig (8) stadium is markering van één cel voldoende om het hele embryo te kleuren.

9. De kegelvormige schelp van de napslak is van onderen open. Door zich stevig op een steen vast te zuigen is de slak toch aan alle kanten door een veilig pantser omgeven.

delingsritme handhaven, wanneer hun onderlinge koppeling verbroken is. Het ligt voor de hand dat dit systeem ook tijdens de embryonale ontwikkeling werkzaam is. Hoe is dat aan te tonen?

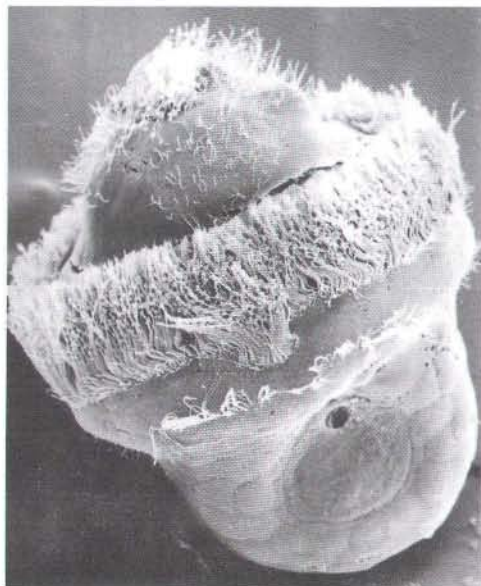
### Een model-slak

Onder de weinige diersoorten waarvan de communicatie tussen de cellen gedurende de embryonale ontwikkeling systematisch is onderzocht, behoren de poelslak *Lymnaea stagnalis* en de napslak *Patella vulgata*. In beide slakken blijken er tot en met de zesde deling tussen alle cellen verbindingen – zogenaamde *dye-koppelingen* – te bestaan (afb. 6, 7 en 8). Maar daarna zien we dat groepen cellen een eigen ontwikkelingsrichting inslaan.

Zo is er een groep van cellen die larvale structuren gaat vormen. Aangezien deze al vroeg functioneel moeten zijn, stoppen die cellen snel met delen om zich te specialiseren. An-

10. De voltooide trilhaarband is duidelijk te zien op deze scanning-elektronenmicroscopische opname van een larve van de napslak.

slak. De band is ontstaan uit een groep cellen die al vroeg in de ontwikkeling een apart compartiment vormen.



10

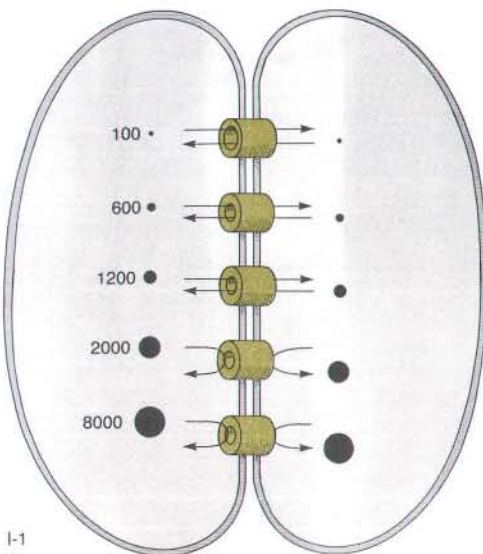
718

## Gap-junctions

Gap-junctions zijn communicatiekanalen tussen cellen die de vrije uitwisseling van molekulen met een moleculair gewicht van minder dan 1200 dalton mogelijk maken. Ze zijn opgebouwd uit zes identieke eiwitten die samen een *connexon* vormen. De eiwitten van zo'n connexon omsluiten een centraal kanaal dat dwars door de celmembraan loopt. Wanneer twee connexonen van aaneengrenzende cellen contact met elkaar maken, ontstaat er tussen beide cellen een doorlopend kanaal (afb. 1-2). Connexonen komen vrijwel steeds in groepen voor; deze groepen worden aangeduid als gap-junctions.

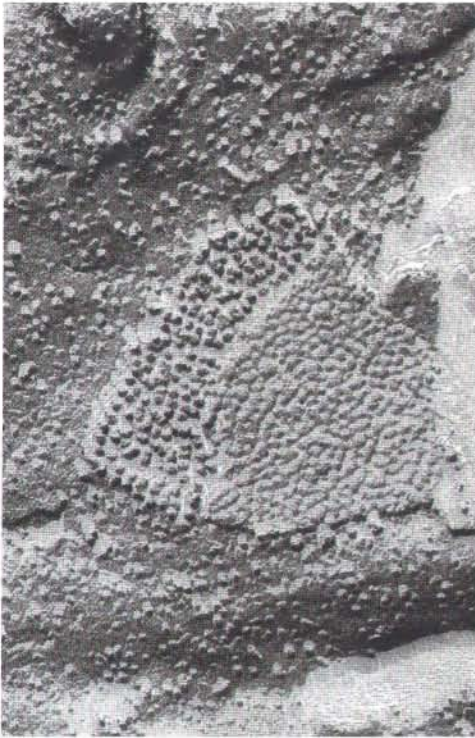
Met behulp van de vriesbreekmethode is het mogelijk een celmembraan zodanig te breken dat het breukvlak midden door de lipidelaag in het binnenste van de membraan loopt. Wanneer de connexonen met één helft worden meegetrokken, zijn ze daarin onder een scanning-elektronenmicroscop als uitstekende partikeltjes zichtbaar; in de complementaire helft op de overeenkomstige plaats zijn dan de corresponderende inzinkingen te zien. Soms verspringt het breukvlak binnen een gap-junction en zijn zowel bobbeltjes als putjes te zien (afb. 1-3).

In een lichtmicroscopische of transmissie-elektronenmicroscopische opname van een overlangse doorsnede door de celmembraan zijn gap-junctions te herkennen aan de plaats waar de celmembranen elkaar zeer dicht naderen. De connexonen vormen daar een reeks donkere bandjes.



1-1

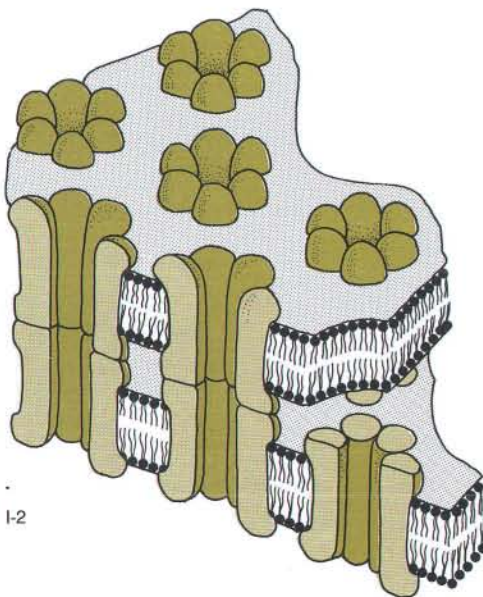




I-3



I-4

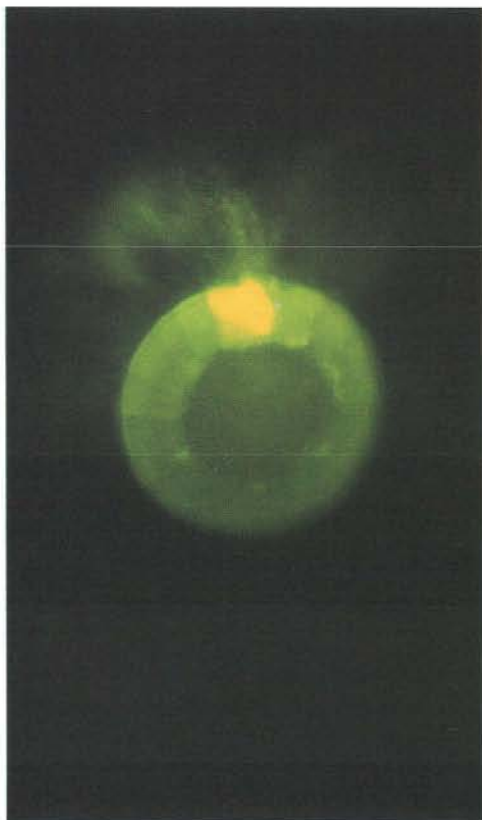


I-2

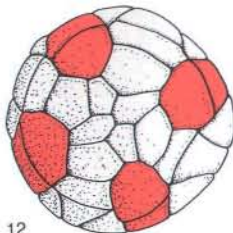
I-1 en I-2. De connexonen liggen in de membranen van beide cellen tegenover elkaar en overspannen zo de ruimte tussen de cellen (I-2). De holte van een connexon is groot genoeg om molekulen tot 1200 dalton door te laten.

I-3 en I-4. Na het splitsen van een bevroren gap-junction zijn de connexonen als een kuiltje of uitsteeksel te zien (I-3). Op plaatsen met gap-junctions naderen de cellen elkaar heel dicht. Een dwarsdoorsnede toont dat.

Of cellen onderling met elkaar communiceren, kan worden geanalyseerd door ze te injecteren met een fluorescerende kleurstof met een molekulgewicht van minder dan 1200 dalton. De stof wordt dan alleen aan die cellen doorgegeven die via gap-junctions met elkaar in verbinding staan. Deze vorm van communicatie heet daarom *dye-koppeling* (dye is Engels voor kleurstof). De kleurstof blijkt duidelijk vanuit de gekleurde cel wel naar de ene groep van buurcellen te worden verspreid, maar niet naar een andere groep. Zo zijn de communicatiecompartimenten zichtbaar te maken.

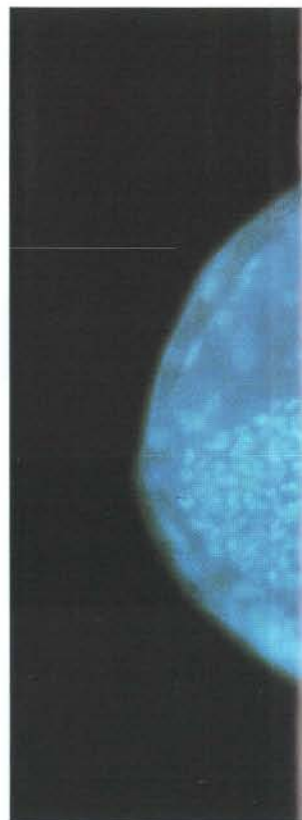


11



12

11 en 12. In dit embryo van een napslak (11) is de equatoriale trilhaarband compleet. Ze vormt een apart communicatiecompartiment dat het embryo scheidt in een bovenste en een onderste compartiment. De band is ontstaan uit de vier groepen grote cellen die in afb. 12 het slakkenkruis uitsparen.



13

dere cellen zorgen voor de opbouw van de volwassen slak. Deze cellen gaan langer door met delen; ze zijn dan ook kleiner en gaan zich pas veel later specialiseren.

Een van de larvale organen is een ononderbroken band van trilhaarcellen die dwars over het embryo loopt; daarmee kan het embryo zich door het water voortbewegen (afb. 10). Deze band ontstaat als volgt. Elk van de vier kwadranten waaruit het embryo is samengesteld, levert een eerste groep van vier trilhaarcellen. Van bovenaf gezien vertoont het embryo nu een kruisvormig patroon van kleinere cellen, het zogenaamde slakkenkruis, met in de hoekpunten de grotere, toekomstige trilhaarcellen (afb. 12, pag. 712-713). De vier groepen van vier cellen vormen elk een compartiment dat de celdeling volledig heeft stilgelegd en snel overgaat tot celspecialisatie.

Wanneer we nu aan een cel buiten deze vier groepen larvale cellen de fluorescerende stof

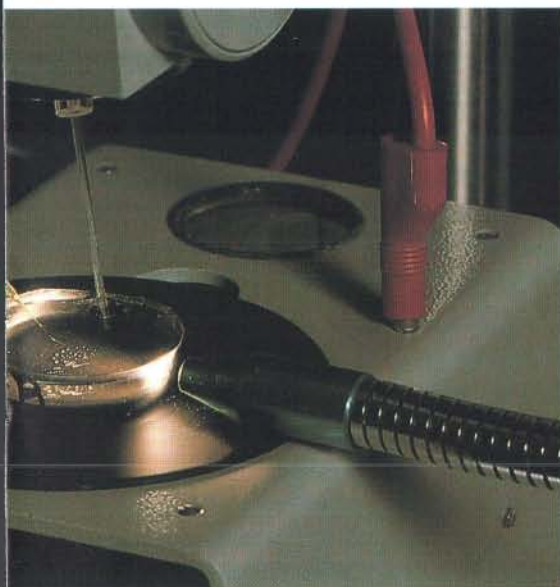
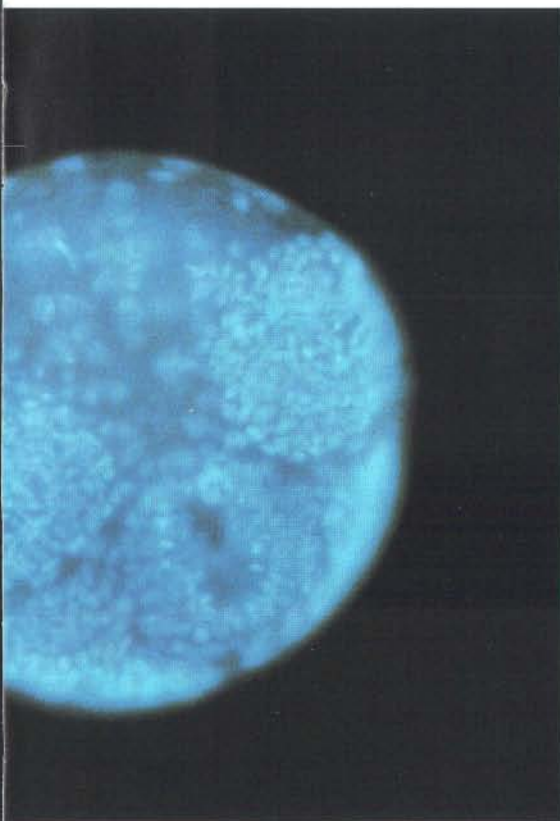
13. De kopplaten vormen twee 'eilanden' van kleine cellen op het embryo van een poelslak. Ze bevinden zich links en rechts boven de mond, die in dit stadium ook al is gevormd.

14. Een schaalje eieren licht onder een microscoop klaar om ingespoten te worden met kleurstof. Dat gebeurt met behulp van de micro-electrode links op de afbeelding. De kleurstof is alleen zichtbaar in laserlicht.



14





Lucifer Yellow toedienen, blijkt deze zich via gap-junctions naar alle cellen te verspreiden, behalve naar de vier groepen die later de trilhaarcellen vormen. Onder een fluorescentie-microscop is dan een kruisvormig communicatiepatroon te zien dat samenvalt met het genoemde slakkenkruis.

Bij de zevende deling ontstaat er aan de vier uiteinden van het slakkenkruis een tweede generatie trilhaarcellen. Ook deze groep verliest de koppeling met de overige cellen, waardoor het embryo nu uit twee eilanden van onderling communicerende cellen bestaat: een aan de bovenkant en een aan de onderkant, onderling gescheiden door een equatoriale ring van ont-koppelde cellen. De equatoriale ring van cellen vormt vanaf een bepaald moment een eigen communicatiecompartiment (afb. 11).

Door de aanleg van de trilhaarband wordt het embryonale oppervlak onderverdeeld in een voorste en een achterste gedeelte. Het voorste gedeelte zal vooral bijdragen aan de opbouw van de kop en het achterste gedeelte aan die van de schelp, de buitenbekleding van het lichaam en de voet. Aanvankelijk vormt elk van beide gebieden een eigen communicatiecompartiment.

Daarna treedt een verdere compartimentatie van beide communicatiedomeinen op. In de voorste helft ontstaat een meridionale (verticaal over de bol lopende) band van larvale cellen die niet meer verder delen en zich gaan specialiseren. Hierdoor valt het voorste gedeelte van het embryo verder uiteen in twee groepen van cellen waarin de delingen doorgaan en die daardoor uit kleinere cellen zijn opgebouwd; dat zijn de twee kopplaten. Uit elke kopplaat ontstaat een oog, een helft van de hersenen, een tentakel en de helft van de buitenbekleding van de volwassen kop.

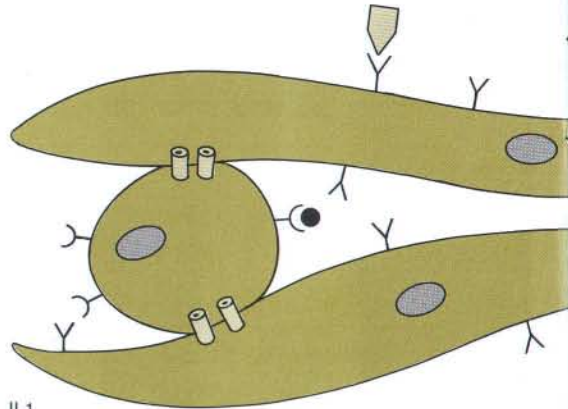
In de achterste helft van het embryo komt eveneens een opsplitsing tot stand waardoor communicatiecompartimenten ontstaan. Een daarvan is een rozetvormig compartiment dat de schelp gaat vormen (afb. 15 en 16). Bij de uitgroei van de schelp blijven deze schelpvormende cellen zichtbaar als een aaneengesloten ring aan de schelprand. Een ander compartiment, dat de voet zal vormen, blijkt ook een aparte communicatie-eenheid, evenals een tussen de voet en de schelp gelegen compartiment dat de verdere buitenbekleding van het achterste deel van het embryo zal leveren.

## Communicatie met vreemde gevolgen

Hoe verloopt de communicatie in een gemengde kweek van granulosa-cellen (dat zijn cellen die rondom de eicel van zoogdieren zijn gerangschikt) en hartspiercellen? De granulosa-cellen bezitten receptoren voor het follikelstimulerend hormoon (FSH), de hartspiercellen voor het hormoon adrenaline. De granulosa-cellen scheiden na toediening van FSH een product in het medium af. De hartspiercellen vertonen een regelmatig contractieritme; dat ritme is te verhogen door toediening van adrenaline. Zolang hartspiercellen geïsoleerd blijven, contraheren zij niet synchroon. Zodra twee hartspiercellen contact met elkaar maken en dye-koppeling vertonen, worden hun contracties gesynchroniseerd.

Wat gebeurt er echter met die contracties wanneer twee hartspiercellen niet direct, maar indirect via de tussenschakeling van een granulosa-cel met elkaar in verbinding treden? Zodra deze cellen een communicatie-eenheid vormen, verlopen de contracties van de beide hartspiercellen synchroon. Kennelijk vormt zo'n trio een 'communicerend vat' waardoor moleculen die het contractieritme bepalen van de ene naar de andere cel diffunderen.

Deze kweek leert ons echter nog meer. Wanneer we aan een dye-gekoppeld duo van een hartspiercel en een granulosa-cel FSH toevoegen, zien we volgens verwachting een verhoogde secretie door de granulosa-cel optreden. Maar tevens zien we een stijging van het contractieritme van de hartspiercel. Daarentegen heeft het FSH op geïsoleerde hartspiercellen geen effect. Ook het omgekeerde vindt plaats: toediening



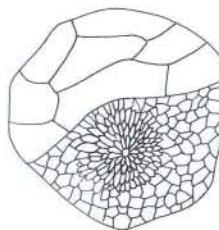
II-1

van adrenaline verhoogt het contractieritme van de spiercellen, maar tevens de secretie van granulosa-cellen die met spiercellen in verbinding staan.

Hoe verklaren we nu dat de granulosa- en de hartspiercellen reageren op een hormonaal signaal waarvoor ze geen receptor hebben? De hartspiercel die voorzien is van de receptor voor adrenaline, vertaalt een primair hormoonssignaal van buiten de cel in een secundair signaal binnen de cel. De granulosa-cel doet hetzelfde met het extracellulaire FSH-signaal. De secundaire signalen binnen de cel zijn echter in beide gevallen volkomen identiek. Zodra beide celtypen via gap-junctions zijn gekoppeld, kunnen secundaire signaalmoleculen onbelemmerd van de ene cel



15



16

15 en 16. De schelpvormende cellen van een poelslakembryo vormen een eigen communicatie-eenheid. Het zijn kleine cellen die in een een rozet op het embryo gerangschikt zijn.

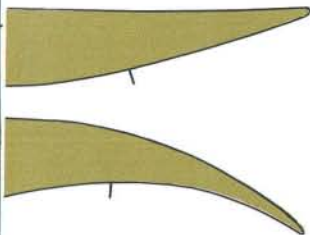
17. Het 'hoedje' op dit napslakje-in-wording is de schelpvormende zone. Zouden we een cel daaruit aankleuren met Lucifer Yellow, dan verspreidt de kleurstof zich over het hele schelpgebied.



## INTERMEZZO II

## Hokjesgeest

II-1. Twee hartspiercellen zijn onderling verbonden door een granulosacel. De hartcellen hebben receptoren voor het hoekige hormoon adrenaline, de granulosacel voor het ronde FSH. Het trio staat via gap-junctions met elkaar in verbinding. Signaalmoleculen die alleen in de cellen voorkomen kunnen nu van de ene cel naar de andere, waardoor de granulosacel opeens ook reageert op adrenaline en een hartspiercel op FSH.

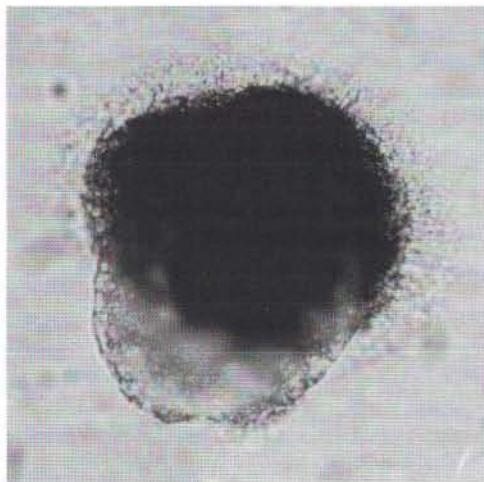


naar de ander diffunderen en aldaar een reactie oproepen net als wanneer de cel door haar eigen signaal van buiten zou zijn gestimuleerd. De cellen geven als het ware antwoord op een vraag die niet aan hen gesteld is.

Een kweek van deze beide typen cellen is natuurlijk een abnormale situatie. In het lichaam zijn dergelijke cellen nooit gekoppeld — dat zou tot catastrofale gevolgen voor het organisme leiden, want een hormoonsignaal zou niet meer specifiek werken. Dit voorbeeld maakt dan ook duidelijk dat de activiteit van verschillende celtypen afzonderlijk alleen te reguleren valt, als er naast communicatiekanalen ook communicatiebarrières tussen cellen bestaan.

Het onderzoek naar de communicatie tussen cellen gedurende de embryonale ontwikkeling van weekdieren, laat duidelijk zien dat het uiteenvallen van een ontwikkelingscompartiment in kleinere, meer gespecificeerde domeinen, gepaard gaat met overeenkomstige veranderingen in het patroon van communicatieverbindingen. Het zijn de gap-junctions die er in hoge mate toe bijdragen dat een meercellig organisme zich als een eenheid kan gedragen. Als deze niet goed functioneren, kan dat niet alleen tot ernstige verstoringen tijdens de embryonale ontwikkeling leiden, maar ook tot afwijkend gedrag van cellen in een volgroeid organisme. Voorbeelden van dit laatste verschijnsel zijn sommige vormen van kanker met een ongecoördineerde woekering van cellen.

Gap-junctions vormen het eerste communicatiesysteem dat tijdens de embryonale ontwikkeling wordt opgebouwd. Doordat de gap-junctions meer of minder doorlaatbaar kunnen worden, ontstaat er binnen het gehele embryo-complex een aantal communicatieve eenheden. De specialisatie blijkt hand in hand te gaan met het opwerpen van communicatiebarrières. Later in de ontwikkeling nemen het zenuwstelsel en het hormoonstelsel de communicatie op grote schaal voor hun rekening, maar ook dan blijven op kleinere schaal de gap-junctions van belang.



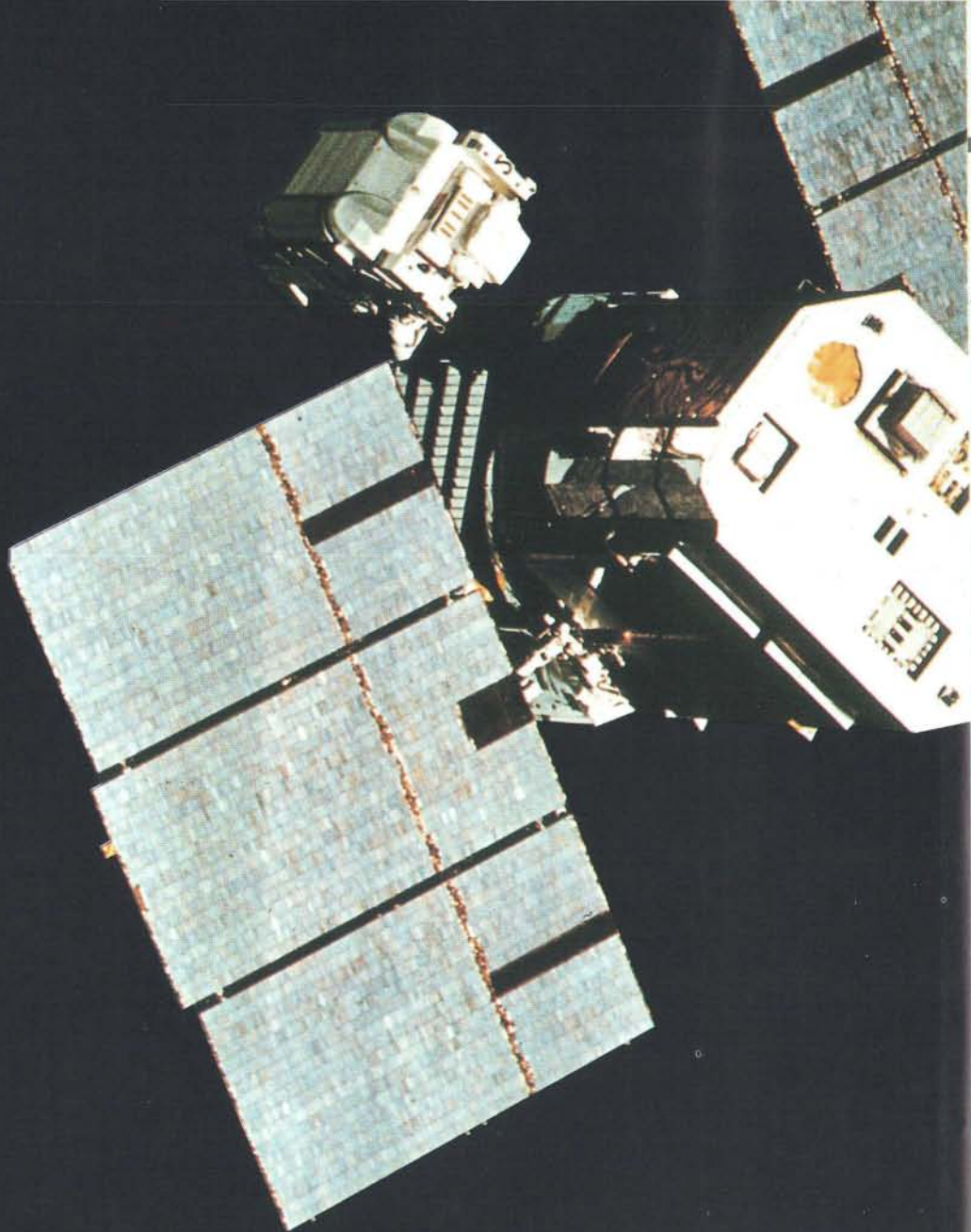
17

## Literatuur

- Poelmann RE, Christ B, Wachtler F. Het ei van...? — Chimaeren in de embryologie. *Natuur & Techniek* 1989; 57: 7, 542-553.  
 Janssens PMW. Moleculaire estafette — Signaaloverdracht in cellen. *Natuur & Techniek* 1989; 57: 11, 872-883.  
 Frese W, Gruss P. Regelgenen — Managers van de celdifferentiatie. *Natuur & Techniek* 1990; 58: 2, 106-117.

## Bronvermelding illustraties

Afbeelding 2 is gemaakt door dr B. Bakhuizen en afbeelding 3 en 4 zijn gemaakt door drs M. de Ruiter. De foto's zijn ter beschikking gesteld door dr T. Sprey, onderzoeksgroep Ontwikkelingsbiologie van Insekten, RU Leiden.  
 De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteurs.

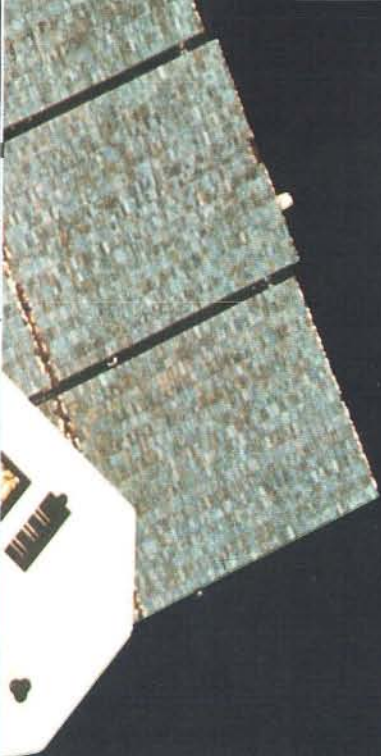


**C.J.E. Schuurmans**

*Koninklijk Nederlands  
Meteorologisch Instituut,  
De Bilt  
en  
Instituut voor Meteorologie  
en Oceanografie,  
Rijksuniversiteit Utrecht*

De Solar Maximum Mission-satelliet (SMM) leverde nauwkeurige gegevens over de afgelopen periode van lage zonne-activiteit. Wegens een technisch mankement werd de meetreeks bijna een jaar onderbroken, totdat een astronaut (linksboven) vanuit de Space-Shuttle de satelliet repareerde. In 1989 kwam de SMM, nog voor haar eerste zonnemaximum, aan haar einde. Door de toenemende zonne-activiteit nam de dichtheid van de atmosfeer op de hoogte van de satellietbaan sterk toe. Dat remde de satelliet zo sterk af dat die terug viel naar de aarde en verbrandde.





## Zonnevlekken

Een regen zonder eind verkeert  
al 't land in plassen  
Gij vraagt er de oorzaak van:  
de Zon, wordt ons berigt  
Kreeg Vlekken in 't gezigt  
En is, zoo 'k denk, aan 't wasschen.

A.C.W. Staring  
1824

# ACHTER DE WOLKEN...

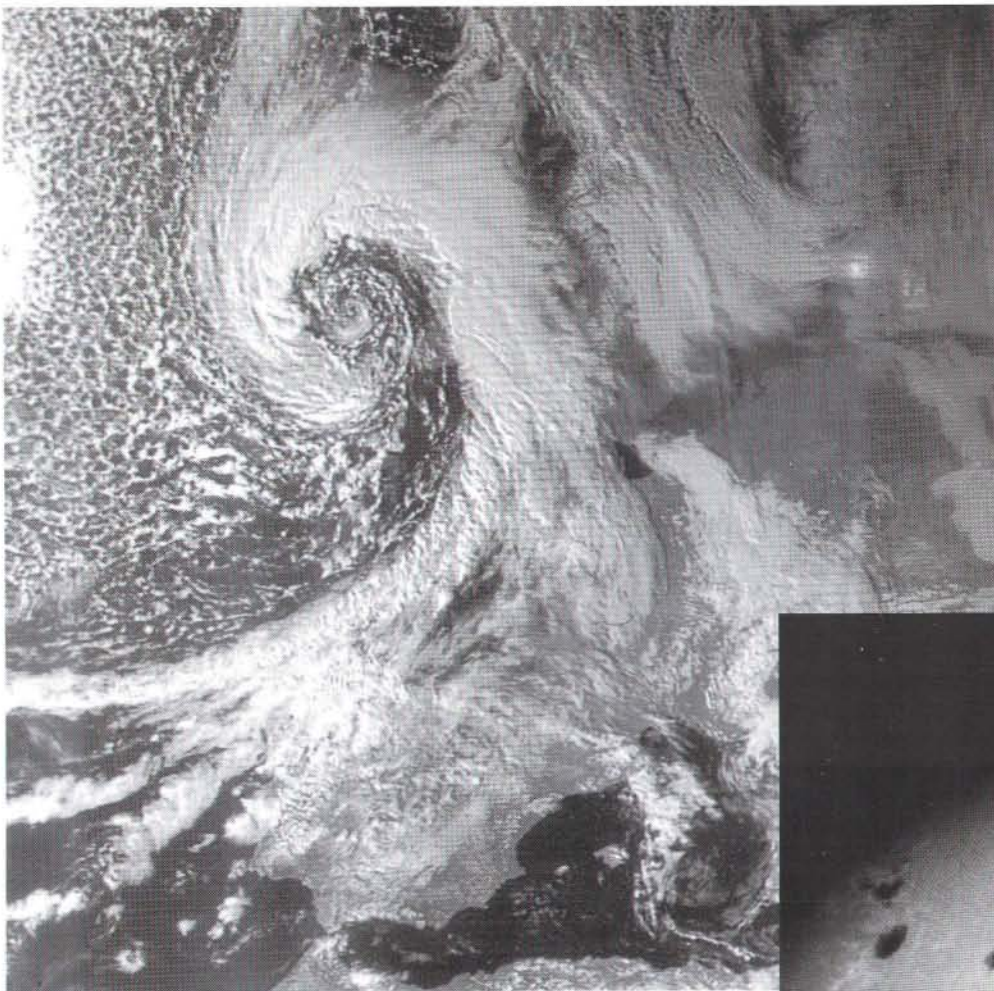
## *Zonnevlekken en het weer*



---

Hadden we in 1989 een mooie zomer omdat het aantal zonnevlekken sterk toenam? Het antwoord op deze vraag is in de vele honderden artikelen die over het onderwerp zonne-activiteit en het weer inmiddels zijn gepubliceerd, niet te vinden. In feite zijn we dus nog niet verder dan in 1824, toen de dichter Staring de spot dreef met de zonnevlekken als verklaring voor de slechte zomer van dat jaar.

De meteorologische wetenschap heeft die conclusie al eerder getrokken. Omdat duidelijke successen uitbleven en de theorie over het verband tussen zonnevlekken, klimaat en weer nogal vaag is, werd er de laatste 25 jaar hoegenaamd geen geld meer aan dit onderzoek uitgegeven. Een paar recente ontwikkelingen brengen daar misschien verandering in.



1

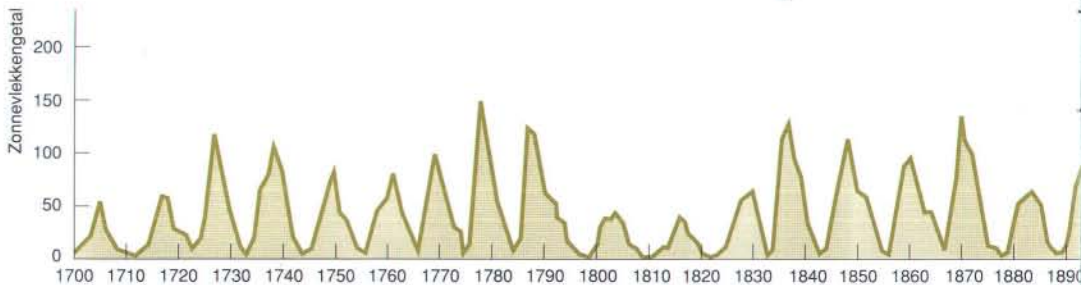
1. Depressies zijn op gematigde breedten de belangrijkste weersystemen. Mogelijk oefent de zonne-activiteit invloed uit op het ontstaan van depressies, en daarmee op ons dagelijks weer.

2. Zonnevlekken zijn koelere gebieden in de buitenste, turbulente laag van de zon. Hun aantal varieert in een elfjaarlijkse cyclus. Deze vlekken zijn gefotografeerd tijdens het huidige maximum.

3. De jaargemiddelde zonnevlekkengetallen van 1700 tot 1990. Het bestaan van zonnevlekken is al eeuwenlang bekend, maar de elfjarige cyclus in het aantal zonnevlekken is pas rond 1850 ontdekt.



2

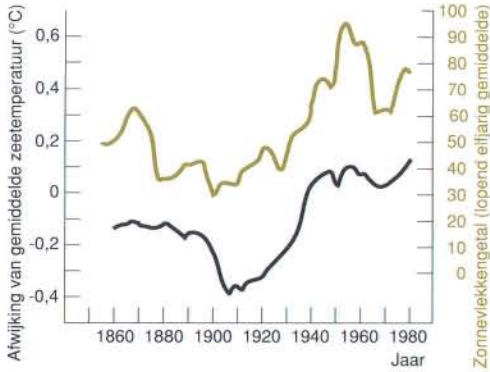


3

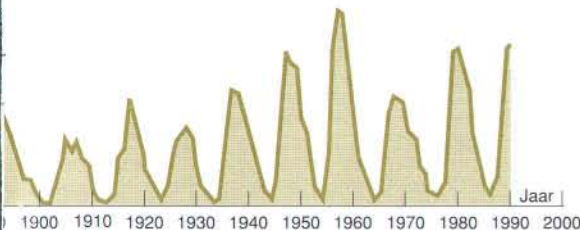


4. Door de zonnevlekken-getallen lopend (telkens met één jaar verschuivend) over elf jaar te midelen zal de elfjarige periode verdwijnen. Het verloop van de temperatuur van het gehele zeeoppervlak als jaarlijkse afwijking

van een veeljarig gemiddelde (ca. 15°C), vertoont dezelfde vorm als de zonnevlekkencurve. De afwijkingen zijn klein, maar belangrijk, want ze gelden voor een dikke waterlaag over 70% van het aardoppervlak!



4



De aarde wordt warmer. Gedurende de laatste honderd jaar is de gemiddelde luchttemperatuur zo'n 0,3-0,6°C toegenomen. Door schaarse of gebrekkige metingen is de stijging niet nauwkeuriger vast te stellen. Ze is echter voldoende groot om je af te vragen waar ze vandaan komt; vooral ook vanwege de afsmelting van gletsjers en stijging van de zeespiegel die met de temperatuurstijging gepaard gaan. Een belangrijke kandidaat om de toename van de temperatuur te verklaren is natuurlijk het broeikaseffect, veroorzaakt door de stijgende concentratie van CO<sub>2</sub> en andere sporengassen in de atmosfeer.

Mogelijk speelt echter ook het toegenomen aantal zonnevlekken een rol. Wie de grafiek van de aantallen zonnevlekken over de afgelopen eeuw bekijkt ziet de toename onmiddellijk. Door lopende elf-jaargemiddelden van de zonnevlekkengetallen te nemen wordt de elfjaarlijkse zonnevlekken-cyclus geëlimineerd en wordt de toename vanaf eind vorige eeuw nog beter zichtbaar. De Amerikaan Reid vond dat deze laatste curve zoveel lijkt op het verloop van de wereldtemperatuur over de laatste eeuw, dat hij serieus wil nagaan of er een oorzakelijk verband tussen bestaat.

### De zonneconstante

Zonnevlekken zijn donkere, relatief koele gebieden op de zon. Het lijkt dan ook voor de hand te liggen dat de zon minder straling uitzendt naarmate er meer vlekken zijn. Metingen buiten onze dampkring hebben deze logische gedachte gelogenstraft. Sinds het begin van de jaren tachtig meten twee satellieten continu de hoeveelheid zonnestraling die de aarde ontvangt (de *zonneconstante*). Uit deze metingen blijkt dat de zonneconstante afnam in de periode dat ook het aantal zonnevlekken afnam (1980-1986), om daarna met het aantal zonnevlekken weer toe te nemen. De gemeten verandering is gering, circa 0,08% van zonnevlekkenmaximum naar -minimum, maar wel in fase met de zonne-activiteit. Als verklaring hiervoor geldt dat bij de meeste zonnevlekken de donkere delen weliswaar minder straling uitzenden, maar dat deze afname ruimschoots wordt gecompenseerd door een toename van vooral kortgolvlige (UV) straling. Helaas is de meetreeks nog kort en weet niemand of het nu gevonden verband universeel geldig is.



Bij een grotere zonneconstante hoort wereldwijd een hogere gemiddelde temperatuur. Op grond van energiebalansbeschouwingen valt per procent toe- of afname van de zonneconstante een temperatuurverandering van 1 à 1,5°C te verwachten, dat wil zeggen in een evenwichtssituatie. De grote watermassa's op aarde bepalen echter mede de gemiddelde aardse luchttemperatuur. Doordat ze slechts langzaam opwarmen of afkoelen, kan de wereldgemiddelde temperatuur de verandering van de zonneconstante in de elfjarige cyclus vermoedelijk niet volgen.

De aardse temperatuur zal dus niet in evenwicht zijn met de instraling, waardoor de 1 à 1,5°C per procent temperatuurverandering in de elfjarige cyclus niet wordt gerealiseerd. Vermoedelijk lukt dat wel in een periode van vijftig tot honderd jaar. De Amerikaan Reid probeerde dan ook om de curven in afbeelding 4 oorzakelijk met elkaar te verbinden, door aan te nemen dat de zonneconstante  $S$  lineair toe- of afneemt met het zonnevlekkengetal  $N$ . In formule:

$$S(t) = S_0(1 + \beta(N(t) - N_0))$$

Daarin stelt  $t$  de tijd voor;  $S_0$  en  $N_0$  zijn referentiewaarden voor respectievelijk de zonneconstante en het zonnevlekkengetal. Gebruikmakend van een tijdsafhankelijk energiebalansmodel van de aarde en de waargenomen  $N(t)$  vond Reid dat het verloop van de wereldtemperatuur het beste gereproduceerd wordt met  $\beta = 1,08 \cdot 10^{-4}$ . Dit houdt bijvoorbeeld in dat van 1910 tot 1960, de periode waarin het zonnevlekkengetal volgens het elfjarig lopend gemiddelde toenam met 57, de zonneconstante moet zijn toegenomen met ruim 0,6%. Metingen uit die tijd (die toen nog aan het aardoppervlak werden verricht) kunnen dit helaas niet bevestigen. Wel kunnen we vaststellen dat 0,6% in vijftig jaar, dus een gemiddelde stijging van 0,012% per jaar, qua grootte-orde redelijk overeenkomt met de tussen 1980 en 1986 gemeten daling van 0,019% per jaar.

### De elfjarige cyclus

Nu uit satellietmetingen is gebleken dat de zonnestraling toeneemt met het aantal zonnevlekken, is meer dan ooit de vraag gewettigd of de elfjarige zonnevlekkencyclus invloed

heeft op ons aardse weer. Zoals we hiervoor al hebben gezien kan de wereldgemiddelde temperatuur zo'n snelle cyclus niet volgen, maar dit betekent nog niet dat het weer op een bepaalde plaats dat niet kan. Dat kan zelfs de seizoensvariatie van de zonnestraling volgen, al gaat het daarbij natuurlijk wel om veel grotere stralingsvariaties dan in de elfjarige zonnevlekkencyclus. (Misschien denkt de lezer nu dat het weer zelfs het dag-nachtritme van de zonnestraling volgt, maar dat is hoegenaamd niet het geval. Wel is de temperatuur overdag meestal hoger dan 's nachts, maar een weersysteem als een depressie of een hogedrukgebied trekt zich vrijwel niets van de dagelijkse gang in de zonnestraling aan. In de luchtdruk is weliswaar een halfdaags thermisch getijde meetbaar, maar dat heeft geen implicaties voor het weer.)

Er lijkt dus voldoende reden om te zoeken naar een elfjarige cyclus in het weer. Helaas



5

5 en 6. De Grindelwald-gletsjer in de Zwitserse Alpen reikte in 1808 (5) ruim een kilometer verder het dal in dan tegenwoordig. Op beide afbeeldingen is links de gletsjertong zichtbaar en rechts de Eiger. Een gletsjer is geneigd te groeien in een koude periode en te slinken als het warmer wordt. Dat tegenwoordig vrijwel alle gletsjers korter worden, hangt dan ook samen met een wereldwijde stijging van de temperatuur.

7. Op honderden plaatsen ter wereld wordt minstens tweemaal daags een weerballon opgelaten. De sonde onder de ballon meet de luchtdruk en -temperatuur en geeft die via een zender door aan de meteoroloog. Die kan de beweging van de ballon bijvoorbeeld via een radar volgen. Dat geeft hem informatie over de windrichting en -snelheid. Zo maakt de stijgende ballon als het ware een doorsnede door de atmosfeer.





7

belanden we hiermee op een terrein dat nogal glibberig is. Over zonne-activiteit en weer zijn inmiddels zo'n kleine duizend artikelen gepubliceerd en een groot deel daarvan gaat over die elfjarige cyclus. Na kritische lezing en selectie blijft er van zo'n schat aan onderzoeksresultaten echter weinig steekhoudends over, meestal vanwege statistische manco's.

Soms blijkt ook dat een statistisch significante relatie tussen zonnevlekkengetallen en een bepaald weersverschijnsel, bij toetsing op een latere, onafhankelijke reeks waarnemingen niet opgaat. Met name het laatste heeft zo frustrerend gewerkt dat de meteorologische wetenschap zich de laatste tientallen jaren volledig van dit probleem heeft afgekeerd. Zo niet taboe geworden, bleek voor het zon-weeronderzoek geen geld meer te worden uitgetrokken. In zo'n situatie kan alleen een toevallig gevonden resultaat de zaak weer op gang brengen. Dat is onlangs gebeurd.



6



8

8. Vooral aan de oostkust van de Verenigde Staten brengen strenge winters vaak een enorm pak sneeuw. Er zijn aanwijzingen dat de kans op zo'n winter het grootst is in zonnemaximumjaren als tegelijkertijd de wind hoog boven de tropen uit het westen waait.

### De stratosfeer in de winter

In de wintermaanden wordt de luchtstroming op het noordelijk halfrond gekenmerkt door een brede, krachtige wervel van west naar oost rond het koude poolgebied. De intensiteit van de wervel neemt toe met de hoogte, niet alleen in de troposfeer, maar ook in de ijlere stratosfeer, tot tenminste dertig kilometer hoogte.

Een aantal jaren geleden is ontdekt dat die zogenaamde *polaire stratosferische vortex* wat krachtiger is in de jaren dat in de tropische stratosfeer een westenwind waait. Dat is zowat om het andere jaar het geval. De stratosfeer in de tropen kent namelijk een uiterst merkwaardig verschijnsel dat QBO (= quasi biennial oscillation) heet: tussen vijftien en dertig kilometer hoogte wisselen westen- en oostenwinden elkaar om de dertien à veertien maanden af. De totale periode van het verschijnsel is dus 27 à 28 maanden, vandaar de naam. Niemand heeft nog een afdoende verklaring voor deze periodiciteit gevonden.

Welnu, terugkerend naar de stratosferische wervel rond de noordpool in de winter, blijkt dat voor QBO-fase west, de poolwervel sterker is dan voor QBO-fase oost. Met zonne-activiteit heeft dit vermoedelijk nog helemaal niets te maken. Die komt pas om de hoek kijken als

je gaat letten op de stabiliteit van de polaire wervel. Sinds het begin van de jaren vijftig weten we dat de gesloten vortex in de stratosfeer in sommige winters openbreekt en in andere niet. Het opbreken van de wervel betekent niet alleen dat de krachtige westenwinden verdwij-

9. De waterstand van het Victoriameer vertoonde rond de laatste eeuwwisseling een elfjarige cyclus, die men in verband bracht met de zonnecyclus. Ten onrechte; sinds de jaren dertig komt het verschijnsel niet meer voor.

10. In de winter treden in de koude stratosfeer soms sudden warmings op. In de afbeelding is voor ieder jaar aangegeven of zo'n stratosferische verwarming optrad; gemerkt met een W als dat gebeurde tijdens de westfase van QBO, en met een O als de oostfase heerste. Sudden warmings treden tijdens QBO-w alleen op bij maxima van zonne-activiteit.



9



nen, maar ook dat de stratosfeer plotseling warm wordt. Temperatuurstijgingen van  $50^{\circ}\text{C}$  in enkele dagen zijn daarbij niet ongewoon, vandaar de Engelse naam voor het verschijnsel: *sudden warming*.

De Duitse stratosfeeronderzoekster Karin Labitzke deed enkele jaren geleden een interessante vondst. Zij ontdekte dat sudden warmings (het opbreken van de stratosferische wervel) vaker op blijken te treden in de oostfase van de QBO, dus als de poolwervel zwakker is. De krachtige poolwervel die tijdens de west-fase van de QBO optreedt is blijkbaar moeilijker op te breken. Toch gebeurt het soms wel in jaren met veel zonnevlekken (afb. 10).

### Toch een elfjarige cyclus

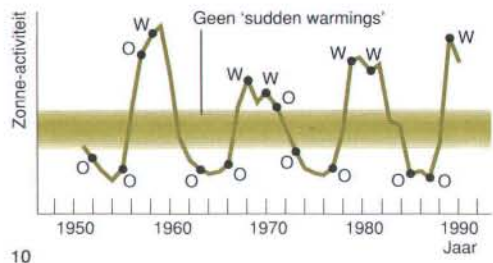
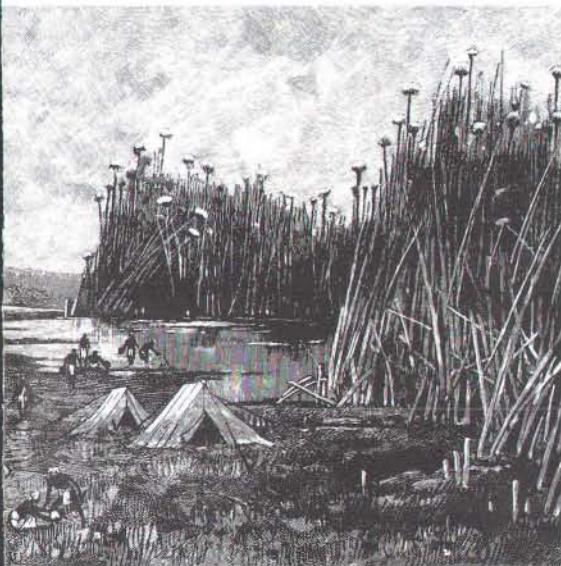
De duidelijke invloed van de zonnevlekencyclus op de winterse stratosfeer heeft de stoot gegeven tot nieuw onderzoek van een mogelijke relatie met het weer. De sleutel daartoe bleek het onderscheid in de jaren met QBO-fase west en die met QBO-fase oost. Waar zonder dit onderscheid een verband tussen een bepaald weersysteem en de zonnevlekken ten ene male ontbrak, bleek er na splitsing van bestaande onderzoeksgegevens in QBO-w en QBO-o, soms een verbluffend strak verband met het aantal zonnevlekken. Dit wordt duide-

lijk aan de hand van enkele voorbeelden, die zijn ontleend aan recente publicaties van Karin Labitzke, samen met de Amerikaanse meteoroloog Harry van Loon.

Kijken we eerst naar de luchtstroming in de troposfeer, bijvoorbeeld in het vlak waar de luchtdruk 700 hPa is (dat is op ongeveer drie kilometer hoogte). Ook hier is de westelijke stroming rond de pool aanwezig, zij het minder sterk dan in de stratosfeer. Ze stuurt de bekende depressies van de gematigde breedten. Bovendien is het 700 hPa-vlak zo dicht bij de grond dat het een nauwe relatie onderhoudt met de temperatuur aan het aardoppervlak.

Labitzke en Van Loon vonden dat de hoogte van het 700 hPa-vlak – en daarmee de structuur en sterkte van de polaire wervel – over grote gebieden sterk gecorreleerd is met de zonnevlekkenactiviteit. Let wel, de hoge correlaties als in afbeelding 12, werden alleen gevonden bij onderscheid tussen winters in de west- en oostfase van de QBO. De afbeelding geldt voor de 21 winters in de westfase. Voor de winters in de oostfase is het correlatiepatroon vrijwel tegengesteld; de correlatiecoëfficiënten zijn echter kleiner.

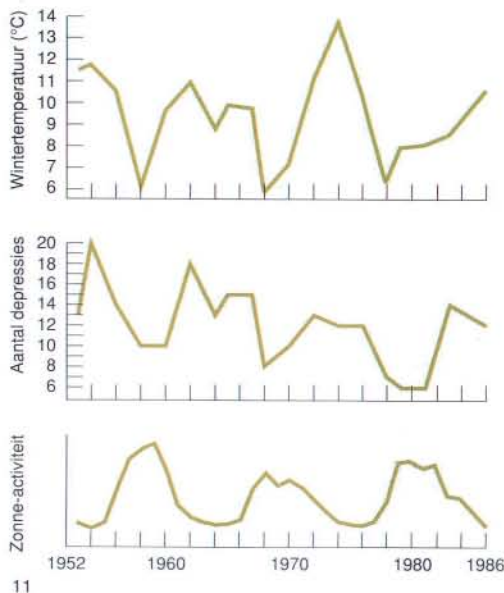
Een meteoroloog kan uit afbeelding 12 bepaalde gevolgtrekkingen maken voor bijvoorbeeld de aantallen depressies die in een bepaald gebied zullen passeren. Ook het gedrag



van de temperatuur aan het aardoppervlak is er uit af te leiden. Zulke gevolgtrekkingen kunnen vervolgens worden gecontroleerd aan de hand van de depressies die elkaar werkelijk opvolgen in een bepaald gebied of de gemiddelde wintertemperatuur op een gegeven waarnemingsstation. Op die manier is afbeelding 11 ontstaan. In deze afbeelding komt de relatie

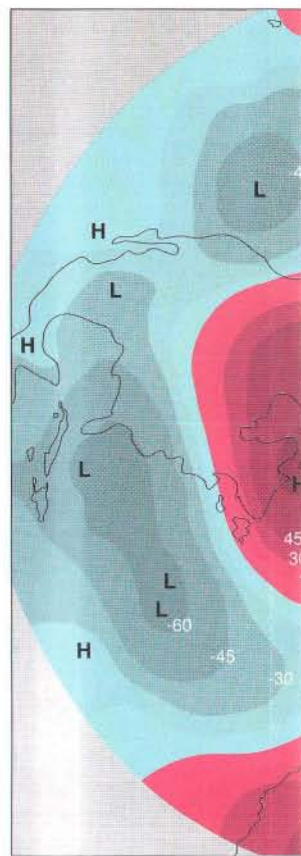
TABEL Gemiddelde wintertemperaturen te De Bilt tussen 1952 en 1990

Zonne-activiteit	QBO-fase west	QBO-fase oost	
Sterk	1,9°C (n=10)	3,2°C (n=9)	2,5°C (n=19)
Zwak	2,4°C (n=11)	1,1°C (n=9)	1,8°C (n=20)
	2,2°C (n=21)	2,2°C (n=18)	2,2°C (n=39)



11. Het aantal depressies dat in de wintermaanden de noordoostkust van de VS kruist, is bij hoge zonne-activiteit gemiddeld lager dan bij lage activiteit. De gemiddelde wintertemperaturen voor het gebied blijken op gelijke wijze met de zonne-activiteit samen te hangen.

12. De hoogte van het isobarsch vlak van 700 hPa blijft over grote delen van het noordelijk halfrond op en neer te gaan met de activiteit van de zon. Deze samenhang blijkt alleen als de jaren met QBO-w en QBO-o apart worden bekeken. Het kaartje laat zien hoe voor fase west de 700 hPa-hoogte in de wintermaanden correleert met de zonne-activiteit. Een negatieve correlatie, zoals boven Europa en een groot deel van de VS, betekent dat met toenemende zonne-activiteit het 700 hPa-vlak in hoogte afneemt. De hoogte van het vlak beïnvloedt het weer op aarde.



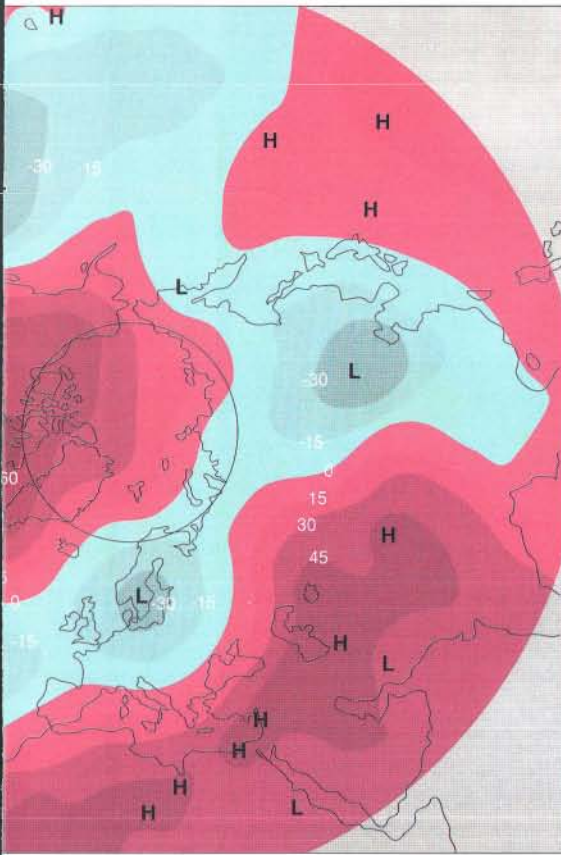
tussen de elfjarige zonnevlekkencyclus en het weer het meest direct tot uitdrukking. De verschillen tussen zonnevlekkennmaximum en -minimum zijn zowel voor de aantallen depressies in de West-Atlantische Oceaan als voor de wintertemperaturen in het oosten van de Verenigde Staten bijzonder groot te noemen. Zoals uit de correlatiecoëfficiënt blijkt, wordt circa vijftig procent van het gemiddelde temperatuurverschil tussen opeenvolgende winters 'verklaard' door de zonnevlekkenn, althans voor de winters in de westfase van QBO over de periode van 1953-1990.

In de grillige opeenvolging van koude en zachte winters, of koele en warme zomers, is de voorkennis die de helft van de grilligheid kan wegnemen een factor van belang. Hij is in ieder geval voldoende groot om bij het opstellen van seizoenverwachtingen rekening mee te houden. Medewerkers van het Amerikaanse

Climate Analysis Centre, dat regelmatig seizoenverwachtingen uitgeeft, houden al rekening met de nieuwe resultaten, ook al is een fysische verklaring nog niet voorhanden. Met een stroming in de tropische stratosfeer die tijdens de winter 1990/1991 vermoedelijk weer in de westfase belandt, en een aanhoudend maximum aan zonne-activiteit, zou de volgende winter in Oost-Amerika aan de koude kant moeten uitvallen (zie afb. 11).

Zoals afbeelding 12 laat zien zijn de gevonden correlaties voor Europa lager dan die voor de andere zijde van de Atlantische Oceaan, maar wel van hetzelfde teken. Nieuwsgierigheid naar de correlatie voor Nederland en België over de periode 1952-1990 leverde bijgaand tabelletje op: lage en dus weinig significante getallen, maar zoals verwacht zijn de winters bij hoge zonne-activiteit in de westfase relatief koud en in de oostfase relatief zacht.





### Verklaring ontbreekt

De recente opleving van het onderzoek naar de invloed van zonne-activiteit op het weer heeft nog niet geleid tot een hausse aan onderzoeksprojecten. Verreweg de meeste analyses zijn tot nu toe verricht door het duo Labitzke en Van Loon, maar ook anderen die zich aan de materie hebben gewaagd zijn tot vergelijkbare conclusies gekomen.

Een essentieel punt in de recente studies is het onderscheid in jaren met west- en oostfase van de QBO. Doordat windwaarnemingen in de stratosfeer van de tropen voor 1952 ontbreken, kan de QBO-fase voor vroegere jaren niet worden vastgesteld. Het statistische onderzoek moet zich daarom noodzakelijkerwijs beperken tot gegevens over de periode 1952 tot heden, minder dan vier zonnecycli. Dat is eigenlijk te weinig. Ook in het verleden vond men

soms verbluffend strakke relaties tussen het weer en de zonnevlekkencyclus, die juist na drie à vier cycli plotseling ophielden te bestaan. Een klassiek voorbeeld is de elfjarige cyclus in de waterstand van het Victoriameer in Midden-Afrika gedurende de jaren 1890-1930. Bij zonnevlekkenmaxima was de waterstand ongeveer een meter hoger dan tijdens minima. Een op grond hiervan verwachte lage waterstand in de minimumjaren 1933-34 bleef echter uit en het verband verdween.

Er bestaat dus terecht nogal wat aarzeling om de nieuwe resultaten als een vaststaand fysisch verband te beschouwen. Vooralsnog ontbreekt eveneens de fysische verklaring. Ook al weten we dat meer zonnevlekken betekent dat de aarde iets meer straling ontvangt, dan nog blijft het een raadsel hoe zulke minuscule hoeveelheden extra energie zo'n groot effect teweeg kunnen brengen. Sommigen prefereren daarom nog steeds de 'verklaring' die veronderstelt dat de aardatmosfeer er zelf een soort elfjarige schommeling op na houdt, die gedurende de laatste 35 à 40 jaar 'toevallig' samenviel met de zonnevlekkencyclus. Dat de aardatmosfeer bij constante zonnestraling schommelingen op die tijdschaal kan vertonen is inmiddels met computermodellen van de atmosfeer bewezen. Wel gaat het daarbij om schommelingen die zeer klein zijn vergeleken met bijvoorbeeld de temperatuurverschillen tussen zonnevlekkenmaximum en -minimum, die voor Oost-Amerika zijn gevonden.

Voldoende reden dus om nog wat verder te zoeken. De QBO vormt een interessante sleutel tot de relatie tussen zonnevlekken, weer en klimaat. Gezien de historie van dit soort onderzoek, is het voor de meeste onderzoekers echter nog te vroeg om de 'zonzijde' te kiezen.

### Bronvermelding illustraties

Stichting De Koepel, Utrecht: pag. 724 (foto: NASA/JPL) en 2 (foto: Leo Aerts)  
 NASA/JPL: pag. 725  
 H.J. Zumbühl/Universität Bern, CH: 5  
 VVV Grindelwald, CH: 6  
 ANP-foto, Amsterdam: 9  
 Mary Evans Picture Library, Londen: 9  
 De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur, met dank aan AJ van Delden/IMOU-RUU (1) en HJ Manie uit 's-Hertogenbosch (3, bewerkt).



# ANALYSE & KATALYSE

INTEGRATIE VAN WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN DE SAMENLEVING

Onder redactie van ir S. Rozendaal.

Paul Wouters

## PERSOONLIJKHEID

DE

VAN EEN DIER

“Wat is het toch vreemd, dat in het leven der dieren, die om ons zijn, zoo veel ontsnapt aan de menschen.”

Deze overpeinzing die Louis Couperus, één van Nederlands grootste schrijvers, begin deze eeuw optekende in zijn verhaal *De spreuwen*, is nog onverminderd geldig. Sommige aspecten van het dierenleven zijn zelfs taboe, zoals het bewustzijn. Al decennia lang ontkent het merendeel van de biologen en psychologen het bestaan van zoiets als een dierpersoonlijkheid. Die eigenschap zou uniek menselijk zijn. Deze houding staat in toenemende mate bloot aan wetenschappelijke kritiek. Bedeesd beginnen onderzoekers het nog onontgonnen terrein te verkennen.

Een van hen is Barbara Noske, cultureel antropologe en filosofe. Zij is gepromoveerd op het proefschrift *Huilen met de wolven*, een studie naar de relaties tussen dier en mens. Het is het tweede Nederlandse proefschrift op dit gebied, een gebied dat door het gezaghebbende weekblad *New Scientist* in z'n bespreking van Noske's studie werd betiteld als een discipline in opkomst. Eerder promoveerde de jurist Dirk Boon op Ne-

derlands dierenrecht. Beide onderzoekers gaan ervan uit dat dieren een eigen beleveniswereld en eigen belangen hebben, waarmee tot nog toe door de mens nauwelijks rekening wordt gehouden. In hun benadering staan ze niet alleen. Een aantal wetenschapsmensen dat dit uitgangspunt deelt, heeft zich verenigd in de universitaire werkgroep PAN, People-Animals-Nature. De werkgroep bestaat uit onderzoekers uit verschillende vakgebieden: diergedragskunde, ethiek, rechten, theoretische biologie, diergeneeskunde, sociologie, antropologie en filosofie. De groep zal dit jaar fuseren met de Fauna Inlichtingen Centrale in Zeist. Henk Verhoog, wijsgerig bioloog aan de Rijksuniversiteit van Leiden en lid van de PAN-groep: “De naam is nog niet definitief, maar voorlopig noemen we het 't Instituut voor mensdieronderzoek in oprichting. Hoofddoel wordt het kritisch begeleiden van de ontwikkelingen in de relatie mens-dier”, met als belangrijkste activiteit het stimuleren van wetenschappelijk onderzoek.

De oprichting van het nieuwe instituut is uiting van een kentering. De PAN-leden kijken

af van de gangbare benadering van dieren in de wetenschap. Met Descartes, de beroemde zeventiende-eeuwse Franse wiskundige en filosoof, beschouwen de meeste onderzoekers dieren als niet veel meer dan machines, min of meer automatische systemen zonder een noemenswaardig psychisch leven. Tijdens haar studie botste Noske daar regelmatig tegenop. Als bijvakstudente diergedragskunde (ethologie) bekeek ze met medestudenten een film over sterns, de slanke neefjes van de meeuwen. Na afloop vroeg ze of er iets bekend was over de geslachtsdrift van deze vogels, aangezien er in de film zoveel werd gepaard. “Dat heb ik geweten”, herinnert Noske zich, “de hele zaal viel over me heen. Dát was geen wetenschappelijke vraag.” Volgens haar gaat de biologie ervan uit dat dieren geen voorkeur hebben, niet willen of liefhebben, maar zijn “toegerust met een bepaald zoekgedrag dat wordt veroorzaakt door een of ander mechanisme en wordt opgewekt door een of andere stimulus”.

Françoise Wemelsfelder, ethologe aan het instituut voor biologie aan de Leidse universiteit bevestigt dat. “De



biologie denkt in principe dat dieren doelgerichte mechanismen zijn. Het is een uitvloeisel van het superioriteitsgevoel van de mens. Met ons bewustzijn ontkennen we dat dieren zoiets hebben." Wemelsfelder onderzoekt psychische processen bij dieren en merkt regelmatig dat onderzoekers weerstand hebben tegen het in ogenschouw nemen van niet-meetbare grootheden. "Het is niet vanzelfsprekend dat ik mijn onderzoek kan doen." De weerstand hebben onderzoekers overigens alleen binnen hun werk. Thuisgekomen verschilt hun houding tegenover bijvoorbeeld huisdieren niet veel van die van andere mensen. En in het dagelijks spraakgebruik gaan we allemaal uit van een gevoelsleven van onze hond of kat: deze kan zich vervelen, ongelukkig zijn of zich juist heel lekker voelen.

### Domme machine

De kloof tussen dagelijks leven en de wetenschap is niet altijd zo groot geweest. Het veelzijdige talent van de Renaissance, Leonardo da Vinci, vond het in de vijftiende eeuw heel gewoon om in zijn fabels een kameel ten tonele te voeren die een eigen wil had en deze listig wist op te dringen aan zijn drijver. Twee eeuwen later kwam Descartes in de sterk wiskundig geïnspireerde wetenschappelijke revolutie met zijn definitie van het dier als domme machine. Deze benadering is daarna echter weer met succes aangevochten en niet door de minste wetenschappers. De negentiende-eeuwse grondlegger van de evolutietheorie Charles Darwin ging expliciet uit van een sterke continuïteit tussen mens en dier. In *The descent of man* verdedigde hij

de stelling dat er geen fundamenteel onderscheid tussen de mens en hogere dieren is wat betreft de mentale capaciteiten en dat de 'lagere dieren' evenals de mens plezier en pijn, geluk en ellende kunnen ervaren. Darwin deinsde er niet voor terug wetenschappelijk onderzoek te doen naar de intelligentie van aardwormen. Zijn conclusie: ze vertonen een rudimentaire vorm van intelligentie, hebben een notie van ruimte en kunnen leren door ervaring. Van 1850 tot 1920 was het idee dat er tussen mens en dier een geleidelijke, en geen abrupte, overgang bestaat het theoretisch fundament van de vergelijkende psychologie. Daarna is dat snel en drastisch veranderd, vooral met de opkomst van het *behaviorisme* in de Angelsaksische psychologie. In deze onderzoekstraditie zijn wezens me-



Kippen lijden in een legbatterij, maar een ei hoort erbij...  
(foto: Dierenbescherming, Den Haag)



Barbara Noske  
(foto: Theo Noort,  
Amsterdam)

chanismen die een respons geven op een bepaalde stimulus. Wat er 'intern' gebeurt, bijvoorbeeld bij een rat die een flinke elektrische schok krijgt, zou niet te onderzoeken zijn. Behavioristische onderzoekers reduceren gedrag tot een mechanisch samenspel van stimuli en responsen. Ook in de biologie werd de dierpsychologische benadering losgelaten ten gunste van dit soort modellen.

Werd deze omwenteling ingegeven door nieuwe onderzoeksresultaten? Deze vraag stelt de Amerikaanse ethicus Bernard Rollin in zijn nieuwste studie *The unheeded cry. Animal consciousness, animal pain and science*. Op basis van een vergelijkende studie van de wetenschappelijke publicaties begin deze eeuw, komt hij tot de conclusie dat dit niet het geval is. Er was veeleer sprake van een culturele revolutie binnen de we-

tenschap. De psychologie wilde in navolging van de negentiende-eeuwse natuurkunde een echte, objectieve wetenschap worden. Ze sloot daarom het vage en dubbelzinnige concept 'bewustzijn' als studie-object buiten. Alles moest kunnen worden teruggebracht tot meetbare gegevens en mechanische interacties. Paradoxaal genoeg maakte de natuurkunde, die het grote voorbeeld was, op hetzelfde moment de quantumrevolutie door en schafte het mechanische wereldbeeld af. Sinds die tijd heerst het vooral in de biologie en de psychologie.

Decennia later staat het behaviorisme op zijn beurt bloot aan toenemende kritiek. Opnieuw zijn het culturele factoren, meer dan onderzoeksresultaten, die er de stoot toe hebben gegeven. Sinds de jaren zeventig oefent vooral de verontrusting over de ruwe omgang met dieren in de bio-

industrie en het uitvoeren van dodelijke, pijnlijke of beangstigende dierexperimenten veel invloed uit. Bekendste voorbeeld van het laatste zijn de oogproeven op konijnen om de irritatie-effecten van cosmetica te onderzoeken. In haar proefschrift wijst Barbara Noske op de paradox die per definitie aan proefdiergebruik ten grondslag ligt. "Enerzijds worden mens en dier vergelijkbaar geacht, anders zouden de experimenten in het geheel geen wetenschappelijke waarde hebben. Maar vervolgens wordt ter rechtvaardiging van die proeven dezelfde continuïteit weer ontkend. Dan heet het dat dieren geen pijn of angst kunnen hebben." Françoise Wemelsfelder accepteert de conclusie van veel onderzoekers dat het twijfelachtig is dat (lagere) dieren kunnen lijden "absoluut niet". "Al heeft 'n beest maar drie zenuwcellen,



dan kan het met die drie cellen op zijn eigen manier diepe ellende voelen." Tegen het argument dat lagere dieren minder lijden, en dus aan ingrijpende experimenten mogen worden blootgesteld, draagt de Amerikaan Rollin het ervaringsgegeven aan dat pijn minder erg is naarmate het doel daarvan beter wordt begrepen. Naarmate dieren minder begripsvermogen hebben, zouden ze dus weleens méér in plaats van minder kunnen lijden.

### Patstelling

De laatste vijftien jaar is de eigenwaarde van dieren meer in de belangstelling gekomen. Dat feit heeft de wetgeving diepgaand beïnvloed en in de meeste landen het ongebreidelde gebruik van dieren in experimenten aan banden ge-

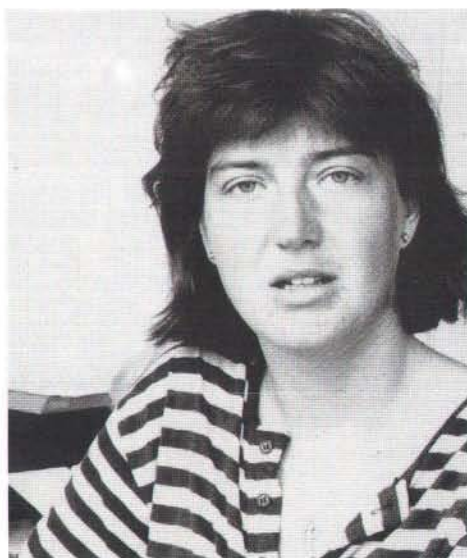
derzoek gaat, in een patstelling terecht." Waarschijnlijk heeft dit al een rol gespeeld bij Descartes. Rollin veronderstelt dat die met zijn omschrijving twee vliegen in één klap wilde slaan. Enerzijds stelde hij de katholieke kerk tevreden door de ziel bij een dier te ontkennen, anderzijds gaf hij wetenschappers een uitweg uit een moreel dilemma in een tijd toen pijnstillers en verdoving nog helemaal niet bestonden en dierproeven dus per definitie een wrede aangelegenheid waren. Wemelsfelder denkt dat dierproeven op de lange duur sterk zullen verminderen. "Door het dier niet meer als machine te zien, kun je veel subtielere proeven ontwikkelen. Nu wordt het natuurlijke gedrag zo verstoord, dat je eigenlijk aan gestoorde dieren zit te meten." Volgens haar is

dat ook wetenschappelijk gezien dubieus.

Ook Rollin en zijn collega's benadrukken het belang dat wetenschapsmensen zelf hebben bij een gewijzigde blik op het dier. Of hun pleidooi doordringt, hangt af van de dialoog tussen onderzoekers en dierenbevrijders. In Groot-Brittannië en de Verenigde Staten staat deze onder grote druk. In juni pleegde een 'animal liberation front' in Engeland zelfs een bomaanslag op een psycholoog, waarbij een baby ernstig werd verwond. Dit IRA-achtige terrorisme is algemeen veroordeeld. In de Verenigde Staten zijn onderzoekers een tegenoffensief begonnen. Ze zijn de inbraken in laboratoria, diefstallen van dieren en bedreigingen van wetenschapsmensen meer dan beu. Via wetgeving en publiciteitscampagnes willen ze het publiek van de noodzaak van dierproeven overtuigen. Dit kan een scherpe polarisatie veroorzaken, vooral als onderzoekers beperkingen aan dierproeven slechts zien als inmenging en dierenactivisten

**Françoise Wemelsfelder: "Al heeft een beest maar drie zenuwcellen, dan kan het met die drie cellen diepe ellende voelen"**

legd. Onderzoekers moeten zich nu verantwoorden en aantonen dat de experimenten een overheersend belang dienen. In de Nederlandse wetgeving wordt sinds 1981 uitgegaan van een zelfstandige waarde van een dier. Het beleid in Nederland is gericht op verfijning, vermindering en vervanging van dierproeven. Dit neemt niet weg dat er een belangenconflict aanwezig is. Onderzoekers hebben belang bij dierproeven, de dieren niet. Wemelsfelder erkent dat een consequent aanvaarden dat ook een dier een persoonlijkheid heeft die gerespecteerd moet worden, leidt tot een impasse: "In principe kom je, als het om zinvol on-



Françoise Wemelsfelder  
(foto: Margreet Bakker, Utrecht)



op hun beurt de witte jassen louter zien als hartvochtige dierenkwellers. De PAN-leden zijn van mening dat dat een heilloze weg is.

### Afluisteren

Een van de pioniers in het ontwikkelen van een nieuwe visie op dieren is de Amerikaanse etholoog Donald Griffin. Hij probeert zijn vakgenoten ervan te overtuigen dat het bewustzijn en gevoelsleven van dieren wetenschappelijk kan worden onderzocht. Griffin maakte vooral naam met onderzoek naar de echo-locatie van vleermuizen. Dit verhinderde echter niet dat zijn boek *The question of animal awareness* door vakgenoten scherp werd afgewezen. In zijn nieuwste boek *Animal thinking* gaat Griffin onverdroten door op zijn benadering. Het conflict met zijn vakgenoten is een botsing van verschillende vraagstellingen. "Zodra de term bewustzijn van het dier valt, beginnen de meeste wetenschappers zich ongemakkelijk te voelen", aldus Griffin. Het leidt er volgens hem zelfs toe dat veel waarnemingen van zelfbewust gedrag van dieren worden genegeerd in de literatuur. En de meeste experimenten zijn niet geschikt om uitsluitsel te bieden. "Het is minder waarschijnlijk dat we bewijzen voor bewust denken vinden in de routinematige herhaling van stereotyp gedrag, dan in de aanpassing aan veranderende omstandigheden en behoeften", aldus Griffin. Hij bepleit daarom een op bewustzijn gericht onderzoeksprogramma dat vooral is gebaseerd op waarneming van dieren in hun natuurlijke omgeving. Onderzoekers ontdekken steeds meer vormen van communicatie tussen dieren. Mie-

ren blijken met geuren ingewikkelde boodschappen over te brengen, paarden geven zoveel signalen met hun huid af dat ze wel 'huiddenkers' zijn genoemd, de door Karl von Frisch ontdekte bijendans vertoont een aantal kenmerken van een symbolische taal en walvissen zingen ingewikkelde liederen. Griffin en zijn collega's willen deze communicatie 'afluisteren'. Dat zou inzicht kunnen geven in het innerlijk van de dieren. Inmiddels is de Amerikaan een van de vele onderzoekers met een nieuwe aanpak op dit terrein. De bekendste is wellicht Jane Goodall met haar levenslange werk onder apen in Afrika. Bij nader inzien blijken de meeste dieren ingenuer in elkaar te zitten dan vermoed. Zo is het vermogen tot leren in het dierenrijk wijd verspreid. Vissen, vogels en reptielen hebben nauwelijks

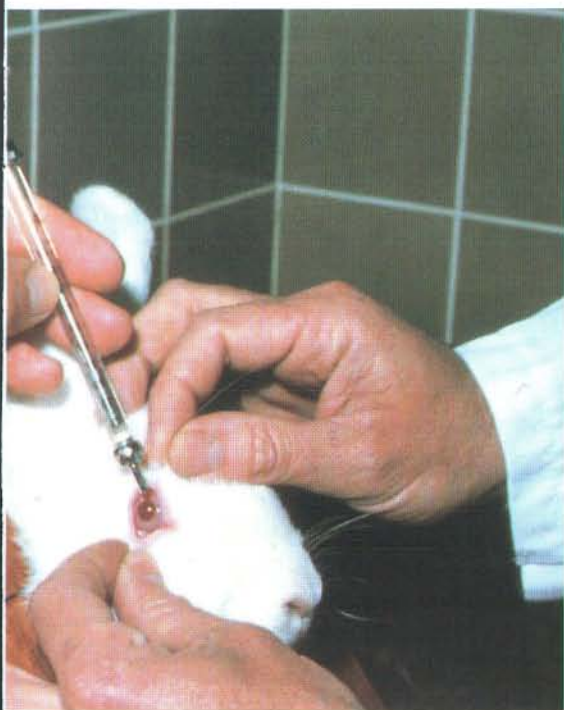


**Onlangs pleegde een Engels dierenbevrijdingsfront zelfs een IRA-achtige aanslag op een psycholoog, waarbij een baby ernstig werd verwond**

hersenschors maar kunnen wel ontdekkingen doen. Dat geldt zelfs voor ongewervelden: octopussen kunnen het verschil leren tussen aanraken en aangeraakt worden en hebben dus een vorm van zelfbewustzijn. Onderzoek naar papegaaien in Zuid-Amerika heeft ertoe geleid dat ze nu de primaten onder de volgens worden genoemd. De Amerikaanse onderzoeker James Gould heeft talloze experimenten gedaan waaruit bijeen als leergierige beestjes te voorschijn komen. In experimenten waarbij hun voedsel wordt verplaatst, iets wat in de natuur nauwelijks voorkomt, blijken ze daarop in te

kunnen spelen. Recent onderzoek in Cambridge naar de werking van geitehersenen heeft aangetoond dat deze de informatie over de buitenwereld op vrijwel dezelfde manier verwerken als menselijke of apehersenen. Dit onderzoek wijst op de gelijkenis tussen dieren met een vergelijkbaar zenuwstelsel. Wie er, zoals de meeste biologen, van uitgaat dat bewustzijn ontstaat uit een samenspel van zenuwcellen, hoeft niet verast te zijn verschillende gradaties van bewustzijn in het dierenrijk aan te treffen. De zenuwcellen zijn immers hetzelfde, van insect tot en met mens.





Een konijn krijgt een cosmeticaproduct in zijn oog gedruppeld. Dankzij een soort 'schandblok' gaat het dier niet op de loop (foto: Dierenbescherming, Den Haag)

Daarmee zijn niet alle dieren hetzelfde. Françoise Wemelsfelder vindt het niet terecht dat Griffin door vakgenoten zo weinig serieus wordt genomen, maar is van mening dat het ook aan hemzelf ligt. "Hij gooit alles teveel op één hoop. Hij heeft te weinig oog voor de verschillen tussen dieren, ze onderscheiden zich bijvoorbeeld in complexiteit en dus in mentale vermogens", aldus Wemelsfelder. Zij doet onderzoek naar verveling bij dieren. Als ze in een voor hen te saaie omgeving moeten vertoeven, vertonen ze onnatuurlijk gedrag. Dat kan variëren van volledige apathie tot buitengewone agressiviteit en zelfverminking. Volgens Wemelsfelder is dat gedrag met de heersende stimulus-respons of cybernetische modellen niet zo goed te verklaren. De theorie wordt beter en helderder door

uit te gaan van het bestaan van een dierpsyche. Met andere woorden: ook dieren kunnen zich vervelen. Het innerlijk is niet spookachtiger dan quarks en golf functies in de natuurkunde of depressies in de psychiatrie. Het zijn allemaal theoretische constructies, weliswaar niet direct toetsbaar, maar daarom nog niet minder reëel.

#### **Gezelschapsdier**

Het innerlijk van het dier is niet alleen in de ethologie een gewaagd onderwerp. Het geldt nog sterker voor de sociale wetenschappen. Het proefschrift van Noske is ook in dit opzicht interessant. Ze poogt een brug te slaan tussen sociale en biologische wetenschappen. Noske vindt het verbazingwekkend hoe weinig belangstelling maatschappijonderzoekers hebben voor

dieren en de relaties tussen mensen en dieren. "Ze zijn tot op de dag van vandaag geen zelfstandig studie-onderwerp in de antropologie. Bij sociologie is dat nog sterker." De enige sociologe die tot nu toe heeft geschreven over het wijdverbreide verschijnsel van het gezelschapsdier is de Groningse sociologe Greetje Tromp. Ze won er in 1988 een (gedeelde) essayprijs van de Nederlandse sociologische en antropologische vereniging mee. In de sociale wetenschappen komen dieren alleen voor als produktiemiddelen of symbolen van mensen, niet zelfstandig. Noske: "Zodra je dat aan de orde stelt, zeggen antropologen dat je daarvoor maar naar de biologen moet gaan". Dit leidt er toe dat de culturele aspecten van de relaties tussen mensen en dieren uit het zicht verdwijnen. "Het enige dat er nu is op dit grensvlak is de sociobiologie, maar die maakt het sociale juist eenzijdig ondergeschikt aan het biologische", aldus de antropologe. Haar proefschrift is een pleidooi voor een culturele antropologie van dieren. Het is het waard. Want, aldus Noske, "het dier is eigenlijk de natuur die naar ons terugkijkt."

EEN

# STIJFKOPPIGE RUSSISCHE

BIOLOOG

Simon  
Rozendaal

Nikolai Timofeyev-Resovsky was een Russische bioloog uit het begin van deze eeuw. Zei iemand tegen hem dat één en één drie was, dan weigerde hij dat te accepteren. Voor een goed verstaander is aldus eigenlijk de levensloop van Timofeyev geschetst. Russisch, bioloog, stijfkoppig en levend rond de tweede wereldoorlog. Ofwel, een allesbehalve gemakkelijk, maar wel fascinerend leven.

De Russische biologie heeft een jaar of twintig in het teken gestaan van de opvatting dat één en één drie was, wit zwart, de hemel beneden en het gras boven. Gedurende de periode dat Stalin de scepter zwaaide werd de Sovjet-biologie gedomineerd door Trofim Denisovich Lysenko. Een man zonder noemenswaardige opleiding die, profiterend

werden standbeelden voor hem opgericht, hij kreeg alle denkbare prijzen, de Russische schoolkinderen zongen zijn lof en mensen die hem tegenwerkten verloren hun baan of verdwenen in het schavot.

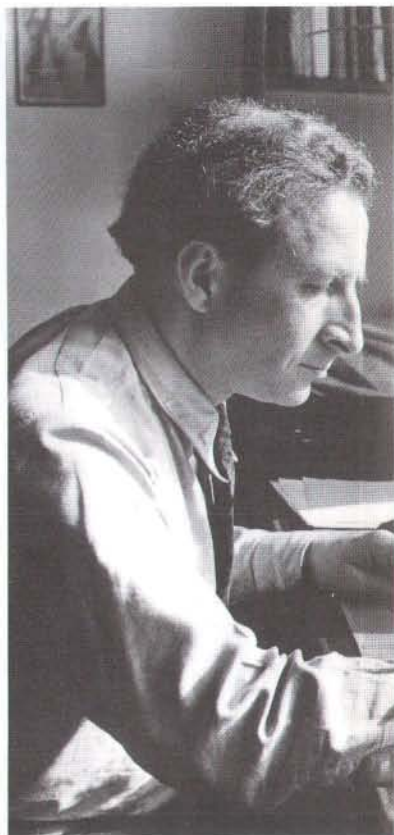
De genetica stond centraal in de biologie-volgens-Lysenko. Zoals nu elke middelbare scholier weet, speelt het fenomeen erfelijkheid een cruciale rol in de biologie. Die erfelijkheid heeft een materiële basis: zij is verankerd in genen die op het chromosoom liggen en uit DNA bestaan.

In de jaren dat deze nieuwe biologie contouren kreeg, was er in de Sovjet-Unie juist een grote behoefte aan politiek-ideologische wetenschap. Wetenschap moest in dienst staan van de nieuwe staat waar iedereen gelijk was. Een

**Timofeyev richtte in de Oeral het enige laboratorium in de Sovjet-Unie op waar de om politieke redenen verdachte fruitvliegen aanwezig waren**

van de communistische achterdocht tegen mensen met een academische graad en goede manieren, tot grote hoogte wist te stijgen in de Russische wetenschap. De nieuwe Sovjet-wetenschapper: ideologisch, politiek, een straatvechtende arbeider en voor iedereen begrijpelijk. Er

discipline die zich bezig hield met de ongelijkheid van mensen en andere dieren was in dat verband bij voorbaat al gestigmatiseerd. Daar kwam nog bij dat het de carrière van de opportunist en charlatan Lysenko ten goede kwam om zich tegen de gevestigde biologie af te zetten.



## De Bison

Hoe het was om biologie te bedrijven in de schaduw van Stalin en Lysenko wordt duidelijk uit *The Bison* van Daniël Granin. Granin is een hedendaagse schrijver in de Sovjet-Unie — vorig jaar werd de 72-jarige in het



Sovjet-parlement gekozen. Zijn boek over 'De Bison' (de bijnaam van Timofeyev-Resovsky) verscheen in 1987 in de Sovjet-Unie en is drie jaar later in Engelse vertaling uitgekomen.

Toen ik twee jaar geleden met diverse biologen in de Sovjet-Unie over het Lysenko-tijdperk sprak, viel me op hoe-

van die andere bekende Sovjet-auteur, Vladimir Doedintsev.

Nu het boek onlangs ook voor niet-Russischtaligen toegankelijk is geworden, begrijp ik waarom. De schrijver-parlementariër Granin schetst aan de hand van de levensloop van de eigenzinnige bioloog Timofeyev-Resovsky, op een toegankelijke wijze de waanzin van het Stalinisme en Lysenkoïsme. Overigens is *The Bison* geen 'mooi' boek. Zinnen die een mens bijblijven, tref je niet aan. Granin schrijft af en toe zelfs ronduit lelijk. Hortend en met rare, grillige overgangen. Menig journalist heeft een mooiere pen dan deze echte schrijver. Daartegenover staat dat Granin met *The Bison* betere journalistiek bedrijft dan menig verslaggever. De schrijver heeft veel research in het boek gestopt. Hij is er jaren mee bezig geweest, heeft met Timofeyev gepraat, met vrienden en kennissen en heeft talrijke archieven doorgeworsteld.

Granin is bovendien niet bang om af en toe zijn emoties door zijn beschrijvingen heen te laten klinken. Hij heeft zelf tegen de Duitsers gevochten en laat bijvoorbeeld in zijn boek regelmatig blijken grote moeite te hebben gehad dat Timofeyev als Russisch staatsburger vlak voor en tijdens de tweede wereldoorlog in Duitsland heeft gewerkt. Op dat soort momenten hoor je de schrijver worstelen met zijn eigen tegenstrijdige gevoelens. Met andere woorden, dan gebeurt er iets in het boek.

#### Rode Leger

Nikolai Timofeyev werd in 1899 geboren uit een oud Russisch geslacht, aristocratie via het X- zowel als het Y-chro-

mosoom. Het was een krachtige man, letterlijk en figuurlijk. Diverse anekdotes hebben hem de bijnaam 'De Bison' opgeleverd. Hij vocht met het Rode Leger tegen de Witten en werd toen gehard, ondermeer in een veldhospitaal waar bijna niemand levend vandaan kwam.

Later ging hij dierkunde studeren aan de universiteit van Moskou. Dat was net na de revolutie opmerkelijk. De Russische maatschappij had toen bovenal behoefte aan arbeiders en in de wetenschap viel nauwelijks droog brood te verdienen. Voor Timofeyev was wetenschap echt een roeping, dat was duidelijk. Hij volgde de colleges en practica die hij leuk vond. Om een diploma bekommerde hij zich niet, iets dat in de jaren na de revolutie overigens niet ongevoel was (diploma's werden als archaïsche, pre-revolutionaire restanten beschouwd). Diploma of niet, hij kreeg een groot overwicht op elke gezelschap. Zo stelde hij eens op een gloeiendhete zomerdag in 1958 voor dat alle deelnemers aan een symposium tot aan hun nek in het water gingen, terwijl degene die de lezing gaf tot zijn middel in het water stond. Het werd een van de merkwaardigste symposia uit de geschiedenis van de Sovjet-biologie.

Timofeyev was een leerling van Nikolai Konstantinovich Koltsov, ook een grote naam in de biologie. Door hem werd Timofeyev ingewijd in de geheimen van het studieonderwerp *par excellence* van genetica, de fruitvlieg *Drosophila*. Timofeyev specialiseerde zich in de jonge experimentele wetenschap radiobiologie en legde zich toe op de invloed van straling op het erfelijk materiaal.

In 1924 kreeg Koltsov het verzoek om een van zijn beste

Nikolai Timofeyev-Resovsky, een bioloog in dienst van de waarheid (foto: Ullstein Bilderdienst, Berlijn)

vaak het net verschenen boek van Granin werd genoemd. De glasnost, de openheid, had dankzij Gorbatsjov eindelijk zijn intree gedaan. Delen van Granins boek werden in het populaire tijdschrift *Novy Mir* gepubliceerd, net als de roman *Witte Gewaden* (ook over het Lysenko-tijdperk)



jonge genetici naar Berlijn te sturen om daar een afdeling voor genetica en biofysica aan het Kaiser Wilhelm Instituut op te zetten. Hij koos Timofeyev, zijn meest onafhankelijke en eigenwijze pupil. Uiteindelijk bleef Timofeyev twintig jaar in Duitsland, terwijl hij dacht dat het maar voor een paar jaar zou zijn. Hij werkte iets buiten Berlijn aan genen, mutaties en evolutie. Daar kreeg Timofeyev internationale bekendheid. Hij werkte samen met de fysici Delbrück en Zimmer en werd op de symposia van Niels Bohr uitgenodigd. Timofeyev bepaalde als eerste de grootte van een chromosoom: gemiddeld enkele tienduizenden genen (die volgens hem elk uit enkele tienduizenden atomen bestonden). De fysicus Erwin Schrödinger haalde hem in zijn vermaarde boek *What is Life from a Physicist's point of view?* aan.

In de jaren dertig werd het politieke klimaat drukkend. In Duitsland kwam het nationaal-socialisme op. In eerste instantie had Timofeyev het gevaar niet in de gaten. Hij tuurde zo bezeten door de microscopie dat hij vergat uit het raam te kijken. Later merkte hij het wel maar werd het steeds moeilijker naar de Sovjet-Unie terug te keren. Lysenko's macht nam toe en het leven begon onaangenaam te worden voor biologen die meenden dat één en één twee was. Een Russische collega, Slepikow, werd uit Duitsland teruggeroepen en terechtgesteld. Timofeyev's broer werd geëxecuteerd. Zelfs Nikolai Vavilov, de vermaarde Russische geneticus, werd voortdurend dwars gezeten. Timofeyev's leermeester, Koltsov, waarschuwde dat Timofeyev met zijn opvliegende temperament binnen een mum van tijd in Siberië zou zitten als

hij uit vrije wil terug zou komen. Timofeyev, inmiddels getrouwd en vader van twee zonen, bleef in Duitsland, ook toen hij door de Russische ambassade werd gesommeerd om terug te keren. In de oorlog helpt Timofeyev joodse wetenschapsmensen aan baantjes op zijn laboratorium. Joodse specialisten mochten in dienst van sommige officiële organisaties blijven, mits ze onmisbaar waren. Het nieuws van thuis wordt steeds onheilspellender. Koltsov dood, Vavilov gearresteerd. De zoon van Timofeyev, Foma, wordt actief in het Duitse antifascistische verzet en helpt vanuit zijn vaders huis en laboratorium vluchtelingen te ontsnappen. Later wordt Foma gearresteerd, komt in het concentratiekamp Mauthausen en

### Banneling

In de zomer van 1945 wordt hij gearresteerd. Hij wordt verhoord in Moskou en komt uiteindelijk als banneling te midden van deserteurs en misdadigers in de Oeral terecht. Daar zet hij een laboratorium op – niet ongewoon overigens voor Russische wetenschapsmensen in ballingschap; de grootste Russische deskundigen (zoals de vliegtuigbouwkundig ingenieur Tupoljev) hebben hun prestaties ver weg van Moskou en Leningrad, in Siberië of de Oeral geleverd.

Zijn vrouw en overgebleven zoon voegen zich bij hem en Timofeyev stort zich weer volledig op de genetica en radiobiologie. In de Oeral ontstaat een laboratorium met grote betekenis voor de Russi-

**Nikolai Timofeyev-Resovsky was een van de weinigen die durfde te zeggen dat Lysenko een charlatan was**

wordt uiteindelijk doodgeschoten. Timofeyev bedwelmt zich met alcohol en wetenschap.

Aan het einde van de oorlog proberen de Amerikanen – in de zogenoemde Alsos-missie, die werd geleid door de Nederlandse natuurkundige Sam Goudsmit – zoveel mogelijk in Duitsland werkende geleerden over te halen voor de Amerikanen in plaats van de Sovjets te kiezen. Ze komen ook bij Timofeyev, wijzen hem er op dat hij het met zijn achtergrond (twintig jaar in het land van de vijand) niet makkelijk zal krijgen in de Sovjet-Unie. Nikolai Timofeyev weet het maar blijft toch. Hij is en blijft een stijfkoppige Rus.

sche biologie. Immers, na de oorlog bereikt Lysenko het hoogtepunt van zijn macht. In augustus 1948 heeft de beruchte zitting van de Vaskhnil (de Academie van Landbouw-wetenschappen) plaats. Biologen die het niet met Lysenko eens waren, worden ontslagen. Over Morgan (de grondlegger van de fruitvlieg-experimenten) en Mendel mag niet meer worden gesproken en alle voorraden fruitvliegen moeten worden vernietigd. Het beroemde tijdschrift *Ogonyok*, dat nu voorop loopt in de liberalisering, drukte toen een artikel af met de kop *Vliegenliefhebbers: mensenhaters*.

Timofeyev zat echter ver weg in de Oeral en zijn sterke per-





**Trofim Denisovich Lysenko, Stalinistisch heerser over de Sovjet-biologie en bang voor fruitvliegjes**  
(foto: Ullstein Bilderdienst, Berlijn)

soonlijkheid maakte zoveel indruk op zijn bewakers dat het laboratorium vele jaren lang de enige plek bleef in de Sovjet-Unie waar fruitvliegen waren en biologie volgens internationale normen werd bedreven.

In 1956 komt er een einde aan zijn ballingschap en wordt het Timofeyev toegestaan terug te keren naar zijn woonplaats Moskou, waar hij meer dan dertig jaar is weg geweest. Nog steeds is Lysenko aan de macht en Timofeyev is een van de weinigen die durft te zeggen dat de nieuwe kleren van Lysenko niets voorstellen, dat de keizer van de Russische biologie helemaal geen kleren aanheeft. In die tijd was de macht van Lysenko al iets minder. Timofeyev wordt niet direct aangepakt maar er wordt een roddelcampagne tegen hem gestart. Hij zou een collaborateur met de nazi's geweest zijn.

Timofeyev, stijfkoppig als hij

is, weigert zich te verweren en praat niet over de vele joden die hij onderdak heeft geboden noch over de verzetsdaden van zijn zoon Foma. Uiteindelijk valt Lysenko. Timofeyev wordt in ere hersteld en blijkt de enige nog in leven zijnde bioloog die al die 'middeleeuwse' jaren van onwetendheid en boekverbranding op niveau heeft doorgewerkt. Timofeyev wordt een symbool van onverzettelijkheid, leermeester voor nieuwe generaties biologen en sterft uiteindelijk op 81-jarige leeftijd.

**Daniil Granin. THE BISON - a novel about the scientist who defied Stalin.**  
New York: Doubleday, maart 1990,  
ISBN 0-385-24753-2

**NATUUR & TECHNIEK** verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau BV te Maastricht.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland:

Postbus 415, 6200 AK Maastricht.

Voor België:

Boechtstraat 15,  
1860-Meise/Brussel.

Bezoekadres:

Stokstraat 24, 6211 GD Maastricht.

Advertenties:

H. Beurskens.

Telefoon: 0(0-31)43 254044 (op werkdagen tot 16.30 uur).

Telefax: 0(0-31)43 216124.

Voor nieuwe abonnementen:

0(0-31)43 254044 (tot 20.30 uur, óók in het weekend).

Abonnementsprijs (12 nummers per

jaar, incl. porto): f 112,50 of 2200 F.

Voor drie jaar: f 265,— of 5195 F.

Prijs voor studenten: f 85,— of 1660 F.

Overige landen: + f 35,— extra porto (zeepost) of + f 45,— tot f 120,— (luchtpost).

Losse nummers: f 10,95 of 215 F (excl. verzendkosten).

Distributie voor de boekhandel:

Betapress BV, Gilze. Tel.: 01615-7800.

Abonnementen op **NATUUR & TECHNIEK** kunnen ingaan per 1 januari of per 1 juli (eventueel met terugwerkende kracht), doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar.

Zonder schriftelijke opzegging vóór het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang.

**TUSSENTIJD**s kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

De Centrale Uitgeverij is ook uitgever van **DE WETENSCHAPPELIJKE BIBLIOTHEEK**.

Door een lidmaatschap te nemen betaalt u voor elk boek een serieprijs die veel lager is dan de losse prijs. Voor inlichtingen: 0(0-31)43 254044.

Postrekeningen:

Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v.

Natuur en Techniek te Maastricht.

Voor België: nr. 000-0157074-31

t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

Bankrelaties:

Voor Nederland: AMRO-Bank NV te Heerlen, nr. 44.82.00.015.

Voor België: Kredietbank Brussel, nr. 423-907 0381-49.

## HET HEELAL AAN DE WAND

## DIMENSIES IN HET HEELAL

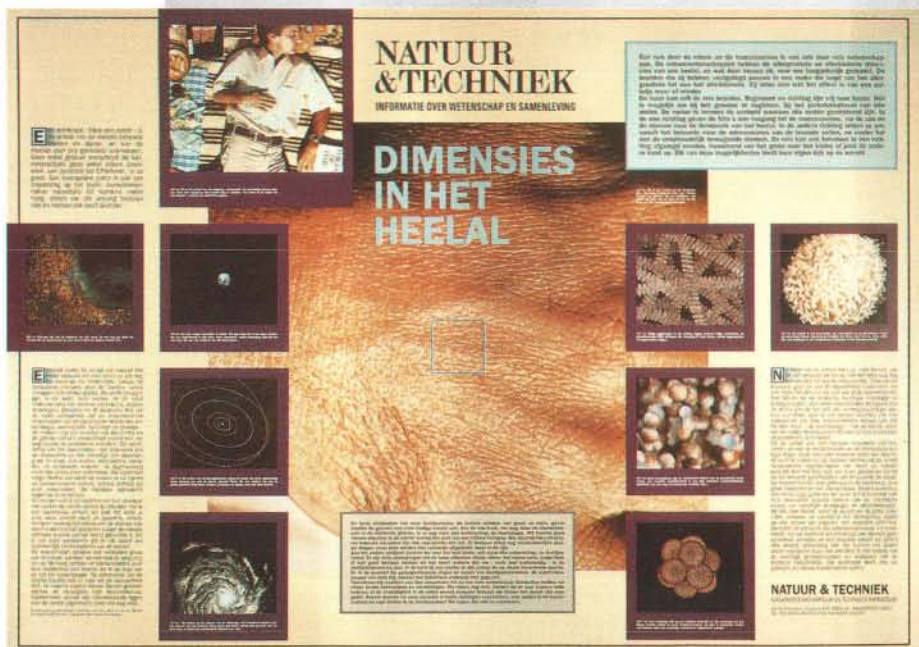
**DIMENSIES IN HET HEELAL** is een poster van Natuur & Techniek over het allergrootste en het allerkleinste dat we kennen, en over alles daartussen, inclusief onszelf.

59 x 84 cm.  
in vierkleuren-  
druk.

f 10,- of 500 F.  
(excl.  
verzendingkosten  
per koker)

Visuele modellen hebben ons begrip van de wereld verhelderd, van de klassieke oudheid tot op de dag van vandaag met verfijnde fotografie en computermodellen. De poster **DIMENSIES IN HET HEELAL** biedt een beeld van het heelal voorzover we het kennen, en een gids voor de ontdekking ervan. Een reis van tien stappen overspant het

universum van de grootste tot de kleinste schaal die binnen ons bereik ligt. We ontmoeten sterrenstelsels, kometen, meren, gebouwen, dieren, cellen, atomen, quarks... (zoals we ze nu kennen). De tien stappen verbinden de macrocosmos met de microcosmos en leggen de verborgen eenheid van het grote en het kleine bloot.



## EEN "REIS" DOOR HET UNIVERSUM

Van de astronomische dimensies van de macrocosmos tot en met de atomaire schaal van de microcosmos.

De kijker/lezer kan zelf de reis bepalen. Beginpunt en richting zijn vrij naar keuze. Het is mogelijk om bij het gewone te beginnen, bij het picknicktafereel van één meter. De meter is immers de eenheid waaraan alle maten gerelateerd zijn. In de ene richting geven de foto's dan toegang tot de macrocosmos, via de zon en de sterren naar de

duisternis van het heelal. In de andere richting leiden ze ons vanuit het bekende naar de microcosmos van de levende cellen, en verder tot aan de onophoudelijk bewegende atomen. De reis kan ook helemaal in één richting afgelegd worden, van groot naar klein of juist andersom. Elk van deze mogelijkheden biedt haar eigen kijk op de wereld.



## Verse paddestoelen

**Tentoonstelling:** 'Verse paddestoelen', Museum van het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen, Vautierstraat 29, Waversesteenweg 260, Brussel. Geopend van 6 tot en met 9 oktober 1990. Openingstijden: op zaterdag van 13.30 tot 16.45; de overige dagen van 9.30 tot 16.45. Toegangsprijzen: volwassen 80 BF, 65 + 60 BF en 6 tot 17-jarigen 40 BF.

Van 6 tot en met 9 oktober kan men in het museum van het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen een tijdelijke tentoonstelling over paddestoelen bezoeken. Deze tentoonstelling biedt een overzicht van de meeste paddestoelen die we in de herfst in België kunnen aantreffen.

Bij de tentoonstelling is een didactische tentoonstelling over de kenmerken, de levenswijze en de classificatie van zwammen. Verder kan men films over paddestoelen zien en boeken over pad-



Bezoekers van deze tentoonstelling kunnen een grote verzameling Belgische paddestoelen nauwkeurig bestuderen.

destoelen kopen. In het antigiftcentrum beantwoordt men vragen over de giftigheid van zwammen.

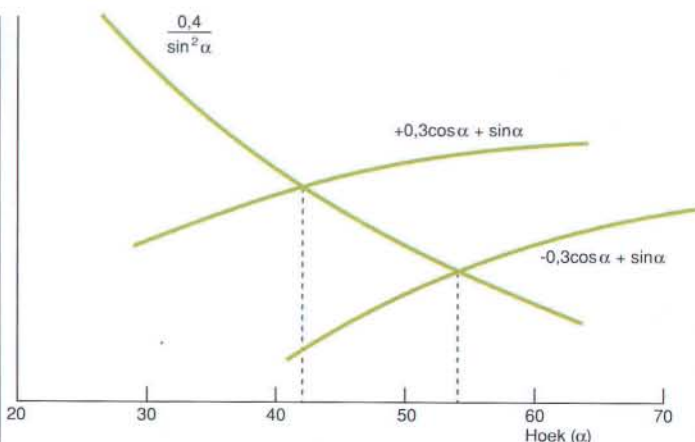
Deze tentoonstelling zal elke na-

tuurlijkhebbber en in het bijzonder de mycoloog en de gastronom aanspreken.

(Persbericht KBIN)

## Oplossing juni

In juni vroeg de professor zich af, voor welke hoeken een plank op een paaltje kon rusten terwijl een uiteinde van de plank tegen de muur steunde. De normaalkracht van de muur op de plank is  $N_2$  en de normaalkracht van de paal op de plank is  $N_1$ . De massa van de plank is  $m$ . Vanwege het horizontale evenwicht van de krachten geldt dat  $f \cdot N_2 + N_1 \cdot \sin \alpha - mg = 0$ . De krachten in het horizontale vlak zijn gelijk, dus  $N_2 = N_1 \cdot \cos \alpha$ . Tevens geldt een evenwicht van momenten:  $m \cdot g \cdot (a/2) \cdot \sin \alpha = N_1 \cdot b / \sin \alpha$ . Door eliminatie van  $N_1$  en  $N_2$  en invullen van  $a$  en  $b$  krijgt men de vergelijking:  $f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha = 0,4 / \sin^2 \alpha$ . Afhankelijk van de richting



waarin de stok dreigt weg te glijden, is  $f$  positief of negatief. Met de gegeven waarde voor  $f$  ver-

krijgt men uit de laatste vergelijking de minimale en de maximale hoek  $\alpha$ , namelijk  $42^\circ$  en  $54^\circ$ .

## PRIJSVRAAG

### Oplossing juli

In het julinumnummer van Natuur & Techniek genoot de professor van een spelletje kaart met zijn neef. Beurtelings namen de spelers een kaart van een stapel, bestaande uit alle azen (elk een punt), tweeën, drieën en vieren uit een enkel kaartspel. Winnaar is degene die met de laatste kaart 21 maakt. Verliezer is hij die met de laatste kaart de som van alle getrokken kaarten groter dan 21 maakt.

Zoals veel inzenders terecht opmerkten, is het wel sportief maar niet zo verstandig dat de professor zijn neef laat beginnen met het trekken van een kaart. Een goede strategie is te trachten 21 te

bereiken via de tussenstanden 6, 11 en 16. Als de neef (A) 4 kiest, kiest de professor (B) 2. Via A 1, B 4, A 3 en B 2, wint de professor. De neef kan dit trachten te voorkomen door telkens 1 te kiezen. De enen zijn echter op als de professor 20 heeft gemaakt, en de neef verliest dan het spel omdat hij met de volgende kaart het getal 21 overschrijdt. Dit is dus geen optimale uitkomst. Als de neef begint met kaart 3 te trekken, kan hij er voor zorgen dat de drieën snel uit het spel zijn. Via A 3, B 3, A 3, B 2, A 4 en B 1 bereiken de spelers een tussenstand van 16 punten. Als de neef nu een twee pakt, lukt het de professor niet 21 te maken. Welke kaart de professor nu ook kiest, de neef

heeft gewonnen. De goede strategie is derhalve dat de neef begint met een 3 en wint.

De lootprijs behorend bij de juni-opgave, een boek uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur & Techniek, gaat naar A. Theelen uit Neer. H. van Wulpen uit Zedelgem is, na loting uit de goede oplossingen van de juli-opgave, eveneens aangewezen als winnaar van zo'n boek. Gratis jaarabonnementen op Natuur & Techniek, de prijs die wordt toegekend aan de deelnemers die de top van de competitieladder hebben bereikt, zijn gewonnen door J.T. Maan uit Den Haag en C. Bouma uit Bussum, die de lijst aanvoerden na respectievelijk de juni- en de juli-opgave.

### De nieuwe opgave

De professor is bezig het tuinschuurtje op te ruimen. Dat was dan ook wel hard nodig. Er liggen zoveel spullen in, dat de deur niet meer dicht kan. Achter de deur blijkt een tennisbal klem te zitten. Om te kunnen ruimen moet de deur eerst helemaal open zijn. De professor wil dit bereiken, door de bal tussen de deur en de muur uit te knijpen.

Gaarne verneemt hij van inzenders en inzendersters of het mogelijk is om de bal op deze wijze tussen de deur en de muur uit te werken, uiteraard met het overtuigende bewijs dat het wel of niet kan.

De puzzelredactie verwacht de oplossingen van deze opgave, die ons ter beschikking werd gesteld door de Stichting Natuurkunde Olympiade Nederland, uiterlijk 30 oktober 1990 op het adres:

Natuur & Techniek

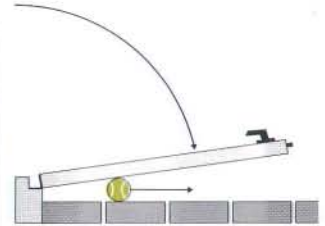
Puzzelredactie

Postbus 415

6200 AK MAASTRICHT

Onder de goede inzenders verloot de puzzelredactie een boek naar keuze uit de Wetenschappelijke

Bibliotheek van Natuur & Techniek. Inzenders verdienen bovendien punten voor de laddercompetitie. De puzzelredactie reikt maandelijks een jaarabonnement uit aan de deelnemer met het hoogste aantal punten in deze competitie.





# RADIOACTIVITEIT

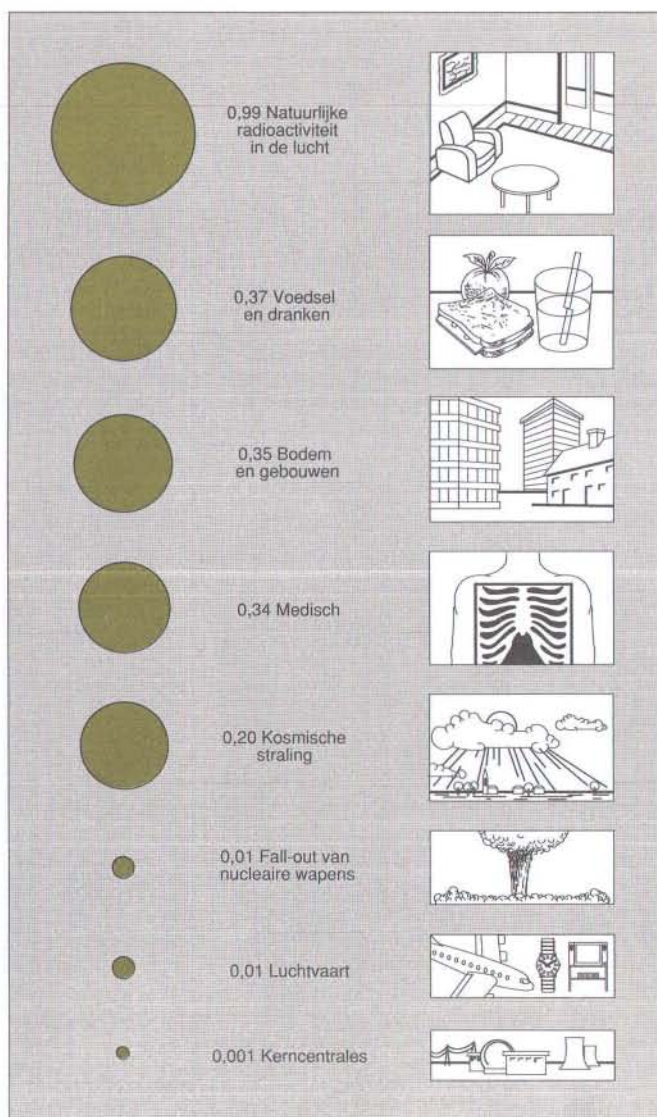
Christine Hutton

Radioactiviteit is een monsterlijk produkt van de twintigste eeuw geworden - omdat zij dodelijk kan zijn. Toch is radioactiviteit een natuurlijk proces, dat zich al voordoet sinds tijdens het ontstaan van het heelal de eerste elementen zich vormden.

**V**eel mensen zijn bang voor radioactiviteit: zij brengen haar in verband met de **fall-out** van atoombommen of met rampen zoals de explosie in de kerncentrale van Tsjernobyl. Radioactiviteit is echter een natuurlijk proces, dat voortdurend overal om ons heen optreedt. Zij doet zich voor in ons huis en in het voedsel dat we eten; zelfs ons lichaam is radioactief.

Veel van deze radioactiviteit is een natuurlijk gevolg van de samenstelling van aan het aardoppervlak. Zij is een zwak overblijfsel van de veel grotere radioactiviteit die bestond tijdens de vorming van de aarde zo'n 4500 miljoen jaar geleden. Zonder radioactiviteit zouden sterren overigens niet schijnen en zouden de bestanddelen waaruit wij en onze planeet zijn opgebouwd nooit zijn ontstaan.

Tegenwoordig weten we dat deze radioactiviteit het gevolg is van natuurlijk instabiele atomen die van de ene soort in de andere overgaan. Het binnenste gedeelte van het atoom probeert opnieuw stabiel te worden door zich te herschikken.



Overzicht van de stralingsbelasting voor de Nederlandse bevolking in het jaar

1987. Aangegeven is de gemiddelde dosis (in millisievert) per persoon.

Wij maken echter ook willens en wetens radioactieve stoffen voor allerlei toepassingen, variërend van medische diagnose tot atoomwapens en structuuranalyse van materialen. En we produceren radioactieve nevenprodukten, met name in **kernreactoren**. We moeten deze kunstmatige bronnen met zorg behandelen: radioactiviteit mag dan een natuurlijk proces zijn, zij kan gevaarlijk zijn, vooral als het niet op de juiste wijze wordt beheerst.

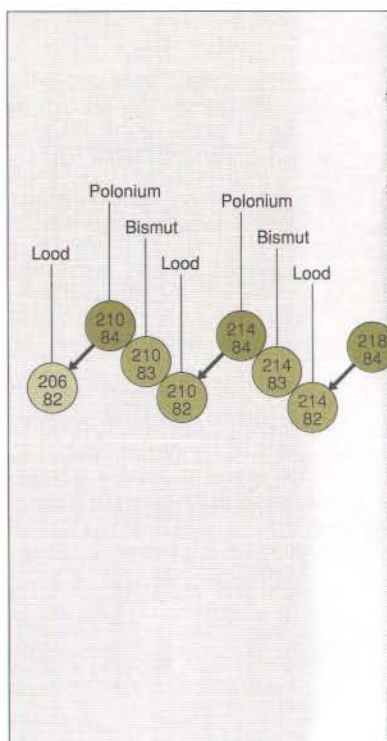
## De atoomkern streeft naar stabiliteit

Hoewel radioactiviteit een fundamenteel aspect van het fysisch wereldbeeld is, werd zij slechts vrij kort geleden ontdekt. In 1896 ontdekte een Franse natuurkundige, Henri Becquerel, dat uraniumzouten een fotografische plaat kunnen zwarten. Becquerel deed deze ontdekking bij toeval, toen hij uraniumzouten in een lade met fotografische platen had laten liggen. Enkele uraniumatomen waren vanzelf veranderd in atomen van iets lichtere elementen. Daarbij hadden ze straling uitgezonden, die net zoals licht een af-druk op de platen had achtergelaten.

Natuurkundigen hadden nog zo'n veertig jaar nodig om zich een redelijk compleet beeld te vormen van wat radioactiviteit is. Gedurende deze tijd ontdekten ze dat een atoom grotendeels uit lege ruimte bestaat, met nietige negatief geladen elektronen die cirkelen om een compacte, positief geladen kern. Deze kern bestaat uit twee typen deeltjes, **positieve protonen** en **elek-**

**trisch neutrale neutronen**, te zamen **nucleonen** genaamd. Bovendien bleek het aantal elektronen in een atoom gelijk te zijn aan het aantal protonen, zodat het atoom in totaal elektrisch neutraal is. Het aantal protonen bepaalt het element waartoe het atoom behoort: één proton voor waterstof, twee voor helium enzovoort, tot aan de zwaardere kernen als uranium met 92 protonen.

Terwijl het aantal protonen in de kern van elk element altijd hetzelfde is, kan het aantal neutronen enigszins variëren. Men noemt atomen met verschillende aantallen neutronen de **isotopen** van een element. De aanwezigheid van neutronen heeft geholpen bij de oplossing van het probleem waarom de elektrische afstoting tussen de gelijknamige ladingen van protonen de kern niet uit elkaar doet vliegen. Natuurkundigen hebben daartoe een kracht ingevoerd, de zogenoemde **sterke kracht**, die de kern samenhoudt. Deze sterke kracht doet zijn invloed gelden over een zeer korte afstand, niet veel verder dan de afmeting van een proton: ongeveer een miljoenmiljoenste millimeter, of  $10^{-15}$  meter. Deze kracht is bij zulke kleine afstanden circa honderd maal krachtiger dan de elektrische kracht. Hij is tevens 'blind' voor elektrische lading en werkt even sterk op protonen als op neutronen, zodat de nucleonen worden gebonden. In relatief lichte kernen (bijvoorbeeld calcium met twintig protonen en twintig neutronen) is de sterke kracht in evenwicht met de elektrische kracht, gesteld dat het aantal neutronen en protonen ongeveer hetzelfde is. Daarentegen dienen er in zware kernen meer neutronen dan protonen

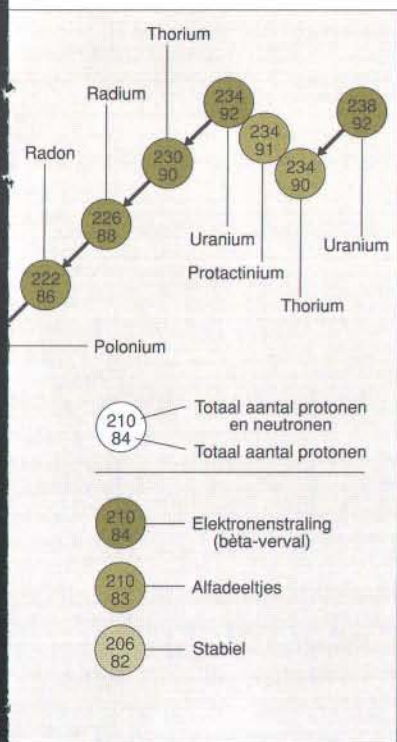


voor te komen om de afstoting tussen protonen te kunnen opheffen.

De extra neutronen zijn nodig omdat, waar de sterke kracht vooral tussen naburige protonen werkt, de elektrische kracht over grotere afstanden kan werken. Een proton aan de ene kant van de kern zal enige elektrische afstoting voelen van een proton aan de andere kant, maar geen sterke-krachtaantrekking van de protonen en neutronen daar. Dit betekent dat de afstotende elektrische krachten het beginnen te winnen van de aantrekkende sterke krachten. De extra neutronen verminderen de elektrische wisselwerking en verhinderen dat de kern uit elkaar spat.

Het evenwicht tussen de krachten luistert zeer nauw. Het subtiel samenspel tussen de sterke en de elektrische



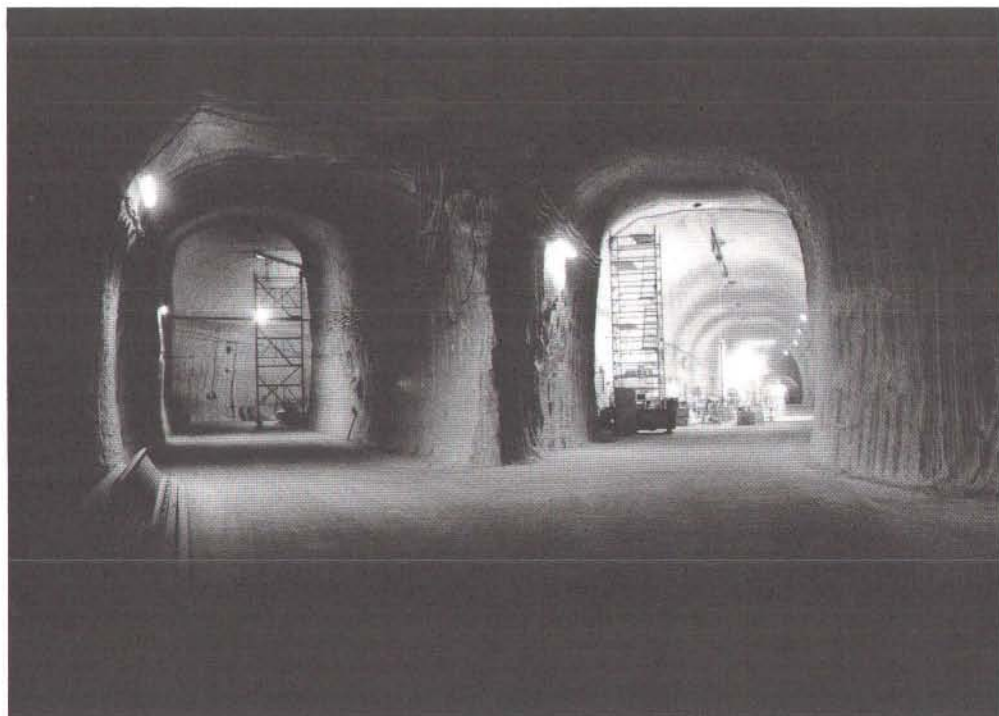


krachten bepaalt in het bijzonder of een bepaalde kern stabiel of instabiel zal zijn. Sommige kernen lijken op een onervaren koorddanser. Zij zijn instabiel en na zekere tijd veranderen ze in een meer stabiele configuratie van protonen en neutronen, net zoals de koorddanser in een stabielere situatie overgaat: de vloer. Bij kernen blijkt echter dat de weg naar stabiliteit als het ware via een opeenvolging van koorden kan gaan, waarbij het ene koord steeds wat meer stabiel is dan het andere. Het is mogelijk dat een

kern meer overgangen maakt voordat hij een stabiele toestand bereikt. Bij elke overgang moet de kern een hoeveelheid energie kwijtraken, net als de koorddanser potentiële energie verliest - samenhangend met de hoogte van het koord - als hij naar de grond valt. De potentiële energie van de koorddanser wordt omgezet in kinetische energie - energie van beweging - wanneer de persoon valt. Op overeenkomstige wijze zendt een instabiele kern overtollige energie uit, wat **straling** wordt genoemd. Radioactiviteit is het proces waarbij overgangen worden gemaakt naar een meer stabiele toestand. Er zijn drie 'hoofdwegen' waarlangs een kern meer stabiliteit kan verkrijgen. Elk van deze wegen heeft een ander soort straling tot gevolg: **alfadeeltjes**, **bètadeeltjes** of **gammastraling**.

Het belangrijkste vervalschema van de in de natuur voorkomende isotoop uranium-238. Uiteindelijk bereikt de kern, door een opeenvolging van alfa- en bèta-verval, een stabiele toestand in de vorm van lood-206.

Een gangenstelsel voor opslag van radioactief afval in zoutkoepels in Asse, Duitsland. (Foto: ECN, Petten.)



## RADIOACTIVITEIT GEMETEN

Wetenschapsmensen gebruiken drie eenheden teneinde hoeveelheden straling en radioactiviteit vast te leggen. De **becquerel**, genoemd naar de natuurkundige die de radioactiviteit heeft ontdekt, verwijst naar de **activiteit** van een hoeveelheid stof. Eén becquerel (Bq) is één kernreactie per seconde. Hij heeft de **curie** vervangen, die oorspronkelijk werd gedefinieerd als de activiteit van 1 gram radium, een van de door Marie Curie ontdekte radioactieve elementen. Een curie (Ci) komt overeen met  $3,7 \times 10^{10}$  Bq.

Ioniserende straling verliest in elke stof waar deze doorheen gaat energie, dus we kunnen een 'hoeveelheid' straling beschrijven in termen van de energie die wordt achtergelaten. Daarmee kunnen we het verschillend ioniserend vermogen van diverse soorten straling in rekening brengen. In het SI-stelsel komt de eenheid **gray** overeen met 1 joule energie, afgegeven in 1 kilogram materie. Dit is een maat voor de **geabsorbeerde dosis** en het geeft in zekere zin de wezenlijke 'aanslag' weer

van elk soort straling. De gray (Gy) vervangt de rad, waarbij 1 gray gelijk is aan 100 rad.

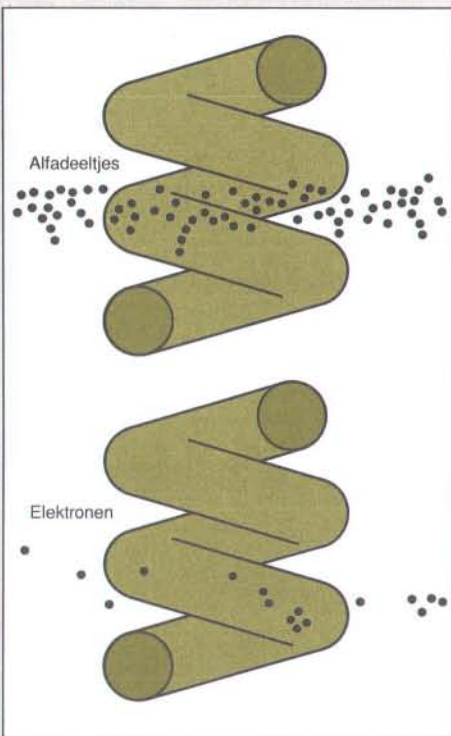
De hoeveelheid schade die 1 gray geabsorbeerde dosis aan het lichaam toebrengt, hangt af van het type straling. Alfadeeltjes zijn bijvoorbeeld van nature schadelijker voor levend weefsel dan elektronen. Dat komt doordat alfadeeltjes hun energie snel afstaan door vele atomen over een korte afstand te ioniseren, wat onherstelbare schade aan een cel kan veroorzaken. Als maat voor het vermogen van straling om cellen te beschadigen - en uiteindelijk te doden - gebruiken wetenschappers de **sievert**.

De sievert (Sv) is een maat voor het zogenaamde **dosis-equivalent**, de geabsorbeerde dosis gewo-

gens middels een kwaliteitsfactor die afhangt van het type straling. Röntgenstraling, gammastraling en elektronen hebben bijvoorbeeld een kwaliteitsfactor 1, terwijl deze factor voor alfadeeltjes 20 bedraagt. De sievert heeft wederom een oudere eenheid vervangen, de **rem** ( $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$ ).

Er bestaat geen volledig veilig niveau van straling.

Een enkel elektron zou bijvoorbeeld een cel onomkeerbaar kunnen veranderen en aanleiding kunnen geven tot kanker. De waarschijnlijkheid van schade en de ernst van die schade nemen echter toe met de hoeveelheid straling. Het is zeer onwaarschijnlijk dat een geabsorbeerde dosis van minder dan 1,5 gray leidt tot een vroege dood, hoewel de ontvanger eventueel zou kunnen overlijden aan door de straling veroorzaakte kanker. Daarentegen zal een persoon die een dosis van circa 8 gray ontvangt, bijna zeker een onherstelbare beschadiging van het beenmerg oplopen. Het beenmerg is de oorsprong van alle cellen



die tezamen het immuunsysteem vormen. De bestraalde persoon zou waarschijnlijk binnen twee maanden overlijden aan de daaruit voortvloeiende instorting van het immuunsysteem (het zogenaamd hemopoëtisch syndroom). Bij nog hogere doses, 10 tot 12 gray of meer, beschadigt de straling de ingewanden in ernstige mate, wat in enkele dagen tot de dood leidt.

Alfadeeltjes (boven) en elektronen (onder) laten een spoor van verwoesting na als zij een gedeelte van een cel passeren dat genetisch materiaal bevat. Elke stip stelt een geïoniseerd atoom voor.

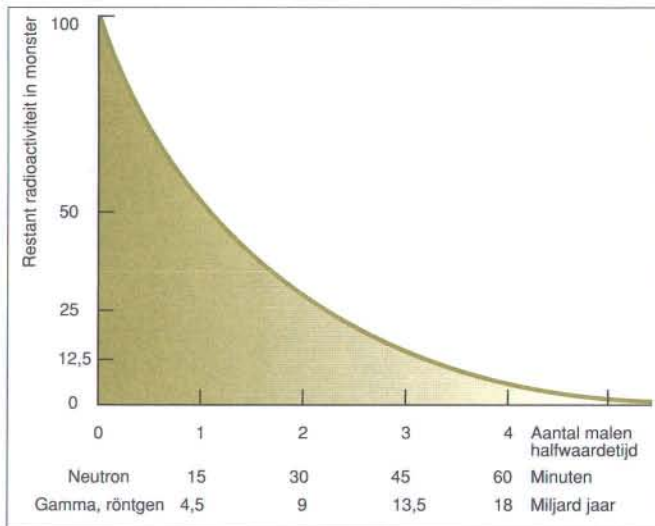


**Alfadeeltjes** zijn hechte groepjes van twee protonen en twee neutronen, die overtollige energie afvoeren. Het zijn in feite heliumkernen. De heliumkern is een zeer stabiele, sterk gebonden configuratie van protonen en neutronen. Hij is zó stabiel dat zware kernen, zoals uraanisotopen, zich bij voorkeur tegelijkertijd ontdoen van twee protonen en twee neutronen als zij veranderen (of transmuteren) in een meer stabiele structuur. Zulke stoffen, **alfastralers** genoemd, komen hoofdzakelijk voor onder de isotopen van elementen zwaarder dan bismut. De stabiele vorm van bismut (weergegeven als bismut-209 of  $^{209}\text{Bi}$ ) bevat 83 protonen en 126 neutronen, in totaal 209 nucleonen.

Bij het uitzenden van een alfadeeltje verliest een kern zowel twee protonen als twee neutronen. Hij verandert daarmee in een kern van een ander element. Uranium-238, de meest voorkomende isotoop van uranium, verandert zodoende in thorium-236.

**Betadeeltjes** zijn daarentegen energierijke elektronen. Zij komen echter niet uit de elektronenwolk die rondom de kern cirkelt, maar ze worden gevormd door kernen die te veel neutronen bezitten om stabiel te kunnen zijn. Deze extra neutronen kunnen overgaan in protonen, onder uitzending van een elektron, een proces dat **bèta-verval** heet.

'Vrije' neutronen vervallen altijd, na gemiddeld vijftien minuten, in protonen, die een iets kleinere massa hebben. De massa van het in dit proces gevormde elektron neemt een gedeelte van dit massaverschil voor zijn rekening, maar het verschil komt voornamelijk te voorschijn als kinetische energie van het elektron



en van een ander gevormd deeltje, het **neutrino**. Neutrino's hebben zeer weinig of geen massa en geen lading. Zij hebben een zeer zwakke wisselwerking met materie: zij kunnen zelfs dwars door de aarde heen gaan zonder met één van de zeer vele elektronen en kernen te botsen. Daardoor vormen de elektronen de enige straling die bij bèta-verval van belang is.

Net als alfa-verval verandert het bèta-verval de aard van het element. In het geval van bètaradioactiviteit blijft het totale aantal nucleonen hetzelfde, maar het aantal protonen neemt met één toe terwijl het aantal neutronen met één afneemt. Zodoende gaat het element een plaats omhoog in het **periodiek systeem**. Lood-210, dat ontstaat in de vervalcyclus van uranium-238 (afbeelding 2), gaat onder bèta-verval over in bismut-210, met 83 in plaats van 82 protonen. Dit soort bèta-verval ontstaat in isotopen die instabiel zijn doordat zij over een te veel aan neutronen beschikken. Twee andere soorten bèta-verval vinden plaats in kernen

**Het vervalpatroon is hetzelfde voor alle radioactieve kernen, onafhankelijk van de halfwaardetijd.**

met een te groot aantal protonen. Zulke kernen bestaan van nature niet op aarde, maar treden veeleer op als natuurkundigen een materiaal beschieten met alfadeeltjes. In deze kernen gaat een proton over in een neutron, zodat de kern verandert in een isotoop van het element dat een plaats lager staat in het periodiek systeem. Een manier waarop deze overgang kan optreden, is als een proton in de kern een naburig elektron invangt uit de eromheen draaiende wolk. Bij dit proces, **elektronenvangst** genoemd, ontstaat een neutron en wordt tevens een neutrino uitgezonden. Elektronenvangst treedt gewoonlijk op in de zwaardere atoomkernen.

Anderzijds kan een proton veranderen in een neutron en daarbij een neutrino en een **positron** uitzenden. Een positron is een anti-elektron: dit deeltje is precies hetzelfde als een elektron behalve dat het

een positieve lading draagt. Dit soort bèta-verval staat bekend als **bèta-plus-verval** of **positron-emissie**.

Het derde hoofdtype radioactiviteit geeft aanleiding tot **gammastraling**. Dit is een elektromagnetische straling, verwant aan licht en röntgenstraling. Gammastraling heeft echter een zeer korte golflengte en beschikt bijgevolg een zeer hoge energie. Vaak is een nieuwe atoomkern, gevormd door het alfa- of bèta-verval van een andere kern, in 'aangeslagen toestand': hij heeft meer energie dan normaal voor dit bepaalde isotoop. De nucleonen herschikken zich daarom in de aangeslagen kern om hun overschot aan energie kwijt te raken. Bij dit proces wordt gammastraling uitgezonden. Het aantal protonen en neutronen verandert niet als een atoomkern gammastraling uitzendt; het isotoop behoudt zijn identiteit.

## Atoomkernen vervallen in het wilde weg

De gemiddelde tijd waarin onstabiele kernen vervallen, varieert van fracties van seconden tot miljarden jaren. De tijdschaal hangt in sterke mate af van het krachtenspel dat zich afspeelt in de kern. Maar het achterliggende proces is in principe het toeval. Natuurkundigen kunnen daarom niet voorspellen op welk moment een kern uiteen zal vallen, alleen de waarschijnlijkheid dat de atoomkern zal vervallen in een bepaald tijdsbestek.

Om deze reden spreken we van de **halfwaardetijd** van een isotoop. Dat is de tijd waarin

de helft van een bepaald aantal kernen is vervallen. En het duurt zesmaal zo lang als de halfwaardetijd om een hoeveelheid kernen tot ruim één procent van hun oorspronkelijk aantal te laten afnemen.

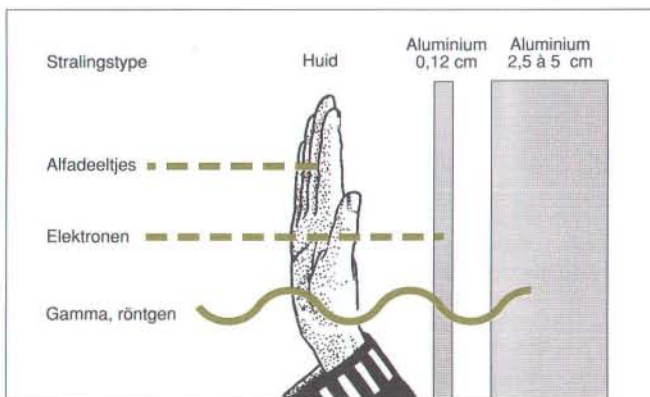
Sommige radioactieve isotopen hebben een lange levensduur, zoals uranium-238 met een halfwaardetijd van maar liefst 4,47 miljard jaar. Dat is ruwweg de ouderdom van de aarde, dus slechts de helft van het aantal uraniumatomen dat bestond bij het ontstaan van de aarde is sindsdien vervallen. Andere isotopen, zoals polonium-214, hebben halfwaardetijden in de orde van fracties van seconden.

De lange halfwaardetijden van bepaalde kunstmatig geproduceerde isotopen, leveren een groot probleem op bij de verwerking van radioactief afval. Een nevenproduct van kernreactoren, neptunium-237, heeft bijvoorbeeld een halfwaardetijd van 2,2 miljoen jaar. Elke opslagplaats van radioactief afval die isotopen met zo'n lange halfwaardetijd bevat, moet er een zijn die in de toekomst niet zal worden aangetaast. Anders zouden radioac-

tieve stoffen in het milieu kunnen komen, met de daarmee gepaard gaande risico's.

## Hoe radioactiviteit schade veroorzaakt

Het is de straling die radioactieve stoffen produceren, die schadelijk kan zijn. De mate van schade die personen oplopen, hangt ervan af hoe zij aan de radioactieve straling worden blootgesteld: of zij de radioactieve stoffen aanraken of ze als voedsel innemen, hoe groot de mate van radioactief verval in die stof is, en welk soort straling wordt uitgezonden. Alfadeeltjes, bètadeeltjes (elektronen) en gammastralen tasten alle op een eigen manier materialen aan. Maar het belangrijkste is dat ze alle over energie beschikken, die ze kunnen afgeven terwijl ze door materie heen gaan. Het is deze overdracht van energie die schade veroorzaakt.



**Hoever dringt straling door in materie?**  
Een huidlaag houdt alfadeeltjes al tegen.  
Bètadeeltjes worden door een dunne laag

aluminium tegengehouden. Gamma- en röntgenstraling zullen pas door relatief dikke lagen worden geabsorbeerd.



## ONZE JAARLIJKSE DOSIS RADIOACTIVITEIT

Wij staan allen blootgesteld aan 'achtergrondstraling' van natuurlijke oorsprong, waar wij ook wonen. Het niveau verschilt echter wel van plaats tot plaats. In Nederland ontvangt men een gemiddelde jaarlijkse dosis van 1,93 millisievert (mSv) uit natuurlijke bronnen. Dit is 85 procent van de totale jaarlijkse dosis: de overige 15 procent komt uit door de mens gemaakte bronnen.

De grootste bijdrage (0,8 mSv) aan de natuurlijke achtergrondstraling wordt geleverd door het radioactieve gas radon en zijn vervalproducten. Deze isotopen van radon zijn producten van de transmutaties van de geringe hoeveelheden uranium en thorium die zich bevinden in rotsen, bodem en bouwmaterialen.

In sommige gebieden, zoals het zuidwesten van Engeland, zijn de niveaus van blootstelling aan straling vele malen groter, omdat het plaatselijke graniet meer uranium bevat dan elders. Deze stralingsbron is van bijzonder belang, omdat radon en zijn vervalproducten tijdens het inademen in de longen kunnen komen. Het gevoelige longweefsel wordt dan wezenlijk blootgesteld aan alfadeeltjes.

De bijdrage van kosmische straling uit de wereldruimte is gemiddeld ongeveer 0,2 mSv per persoon per jaar. Iemand die op een hoogte van circa drieduizend meter leeft, kan echter aan een driemaal zo grote dosis staan blootgesteld. Dit komt doordat op grotere hoogte de kosmische

stralen door een kleiner deel van de atmosfeer zijn gefiltreerd voordat deze door het lichaam gaan.

In normale omstandigheden komt een klein gedeelte van de gemiddelde stralingsdosis voor rekening van door de mens gemaakte bronnen. Het testen van kernwapens in de atmosfeer, met name in de jaren vijftig, heeft per persoon een extra dosis van waarschijnlijk ongeveer 0,01 mSv per jaar tot gevolg. Een vergelijkbare dosis ontstaat door personenvervoer door de luchtvaart en andere bronnen zoals TV-toestellen en lichtgevende horloges.

Het ongeluk in Tsjernobyl in april 1986 heeft een extra hoeveelheid straling van 0,03 mSv toegevoegd: ongeveer dezelfde hoeveelheid als waaraan men staat blootgesteld tijdens een retourvlucht over de Atlantische oceaan. Dit cijfer geldt voor de eerste twaalf maanden na het ongeluk; het stralingsniveau nam daarna snel af.

Het is de toepassing van röntgenstraling voor medische doeleinden, die verreweg het grootste deel van de kunstmatige straling oplevert: een gemiddelde van 0,22 mSv per jaar. Niettemin is het zinvol te bedenken wanneer men voor het laatst 'op de röntgenfoto ging' om zich te realiseren dat juist deze bijdrage tot de jaarlijkse dosis verre van gelijk over de bevolking is verdeeld.

Hetzelfde geldt voor röntgenstraling en voor kosmische straling, de regen van subatomaire deeltjes die in de atmosfeer ontstaat door energierijke protonen, kernen en gamma-stralen die uit de wereldruimte komen. Om deze reden beschouwen natuurkundigen gewoonlijk ook röntgenstraling en kosmische straling, naast radioactiviteit, als ze het over straling en haar effect op mensen hebben.

De belangrijkste wijze waarop straling energie in materie kwijtraakt is door **ionisatie**. Elektrisch geladen deeltjes, zoals elektronen, protonen of

alfadeeltjes, treden in wisselwerking met atomen waar ze vlak langs komen en kunnen daarbij een elektron in zo'n atoom uit zijn baan stoten. Deze atomen worden positief geladen na een elektron te zijn kwijtgeraakt: het worden positieve ionen. Zulke veranderingen geven aanleiding tot stralingsschade.

Ionisatie kan in levend weefsel leiden tot abnormale chemische reacties en verandering van molekulen, waardoor een cel kan worden vernietigd of de werkwijze ervan kan worden veranderd. Schade aan het genetisch materiaal in een

cel kan met name leiden tot ongebreidelde deling van de cel, wat kanker tot gevolg kan hebben. In geslachtscellen kan ionisatie aanleiding geven tot erfelijke ziekten bij het nageslacht van het individu.

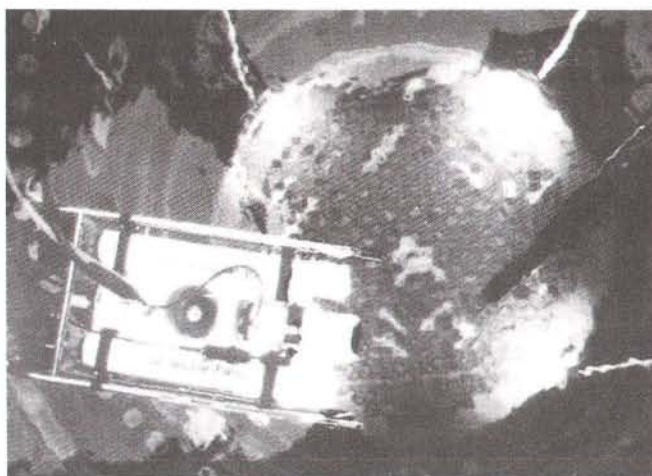
De mate waarin ionisatie optreedt, hangt af van de snelheid waarmee het ioniserend deeltje zich verplaatst. Hoe sneller het deeltje, des te minder minder wisselwerking het heeft met atomen waar het aan voorbijkomt en hoe minder de totale ionisatie over een gegeven afstand. In kosmische straling zijn er bijvoorbeeld deeltjes, zogenaamde

muonen (een zwaardere versie van elektronen) die relatief weinig gevaar opleveren. Zij bewegen bijna met de lichtsnelheid en hebben weinig gelegenheid voor het afgeven van energie als zij door ons lichaam gaan.

Ook de elektrische lading van het ioniserend deeltje beïnvloedt de ionisatie. Alfadeeltjes hebben bijvoorbeeld twee protonen gebonden aan twee neutronen en daarom twee eenheden positieve lading. Zij ioniseren materie vier maal zo snel als enkelvoudige protonen die met dezelfde snelheid bewegen. Dit betekent dat alfadeeltjes hun energie sneller verliezen dan een enkel proton.

De effecten van lading en snelheid te zamen veroorzaken dat elektronen uit bèta-verval minder ioniserend zijn dan alfadeeltjes, en zij dringen daarom verder door in materie. Een dun vel papier, of zelfs de laag dode huid op de vingers, is in het algemeen genoeg om alfastraling tegen te houden. Elektronen uit bèta-verval dringen echter verder door en richten nog schade aan. Er is een dikkere laag materie nodig om ze tegen te houden. Alfadeeltjes zijn echter niet onschadelijk: als ze direct in het lichaam komen (met het eten of de ademhaling), dan kunnen ze flink wat schade aanrichten.

Gamma- en röntgenstraling bestaan zelf niet uit elektrisch geladen deeltjes. Het zijn vormen van elektromagnetische straling en zij dragen geen elektrische lading. Maar ze kunnen wel een elektron uit enkele atomen stoten. Die elektronen kunnen dan beginnen met het ioniseren van materie, waarbij ze net zoals elektronen uit bèta-verval schade veroorzaken.



Een minidiveboot inspecteert de binnenkant van een reactor in een kerncentrale. (Foto: General Electric.)

Gammastraling is de meest doordringende van radioactiviteit afkomstige straling en veelal de gevaarlijkste. Deze straling kan door relatief grote materiaaldikten heen gaan voordat hij wordt geabsorbeerd.

Straling en radioactiviteit kunnen, hoewel in aanleg gevaarlijk, ook heilzaam zijn als zij zorgvuldig onder controle worden gehouden. Vanaf het moment dat Wilhelm Röntgen in 1895 de naar hem genoemde straling ontdekte, heeft de medische wetenschap deze gebruikt voor het opsporen van botbreuken of ziekten binnen in het lichaam. Artsen kunnen ook hoge doses röntgen- of gammastraling op tumoren richten om deze te vernietigen.

Een andere toepassing van

radioactiviteit is het in het lichaam spuiten van zeer geringe hoeveelheden radioactieve stoffen. De radioactieve kernen nemen op dezelfde manier deel aan biochemische reacties als normale kernen. Wij kunnen hun stralingsafgifte volgen voor het lokaliseren van tumoren of andere kwalen, of voor het bestuderen van het zuurstofmetabolisme in de hersenen. Wij hebben het juiste gebruik van deze natuurverschijnselen, voor ons welzijn, binnen handbereik.

Dit artikel werd voor ons vertaald en bewerkt door dr ir I. de Bruijn, vakdidaktiek natuurkunde, TU Twente.

Vandecasteele C. Radionucliden in de diagnostiek, *Natuur & Techniek* 1986; 54: 2, 98 - 109.

Das HA. Activeringsanalyse - Meten na verval, *Natuur & Techniek* 1987; 55: 1, 34-45.

Van Assche PHM. De ontdekking van kernsplijting - Een kettingreactie van gemiste kansen, *Natuur & Techniek* 1989; 57: 3, 170-183.

KIJK OP WETENSCHAP verschijnt acht maal per jaar, onder redactie van *Natuur & Techniek*, in samenwerking met *New Scientist*. Van dit katern zijn overdrukken beschikbaar voor f 2,50 of 50 F per exemplaar (excl. verzendkosten), te bestellen bij *Natuur & Techniek*, Postbus 415, 6200 AK Maastricht (Nederland); telefoon 0(0-31)43.254044. Voor het maken van kopieën is toestemming vereist van de Stichting Reprorecht (Postbus 882, 1180 AW Amstelveen, Nederland).



# VOLGENDE MAAND IN NATUUR EN TECHNIEK

## Oeroorlog

Prof dr L. Louwe Kooijmans

De opgraving van een groepsgraf te Wassenaar verstoortte het idyllische beeld dat archeologen van de brave boeren uit de Bronstijd hadden. De samenstelling van de groep en de doodsoorzaken van de slachtoffers wijzen op een prehistorische oorlog: een strooptocht voor vee of een gewapend groepsduel.



## Abzymen

Prof dr W. Hol

Nu chemisch-technologen eenmaal het gemak kennen van enzymen als katalysator buiten de cel, zijn zij niet meer te stuiten in hun zoektocht naar nieuwe biomolekulen met katalytische eigenschappen. Recent is de ontwikkeling van abzymen, omgebouwde antistoffen die reacties kunnen versnellen waar geen enzymen voor bestaan.



## Pijn

Dr J. Devulder

Pijn, vooral voortdurende pijn, is een tamelijk onbegrepen fenomeen. Desondanks lijden veel mensen aan pijn en is er grote behoefte aan methoden om die te dempen.

Vroeger zocht men daarbij vooral toevlucht tot zenuwvernietiging, maar heden vindt een veel subtielere aanpak plaats, die is geënt op wat we al wel van het verschijnsel weten.



## Mondholtechemie

Prof dr J. ten Cate, drs W. Moorer en drs A. ten Cate-Stoppelenburg

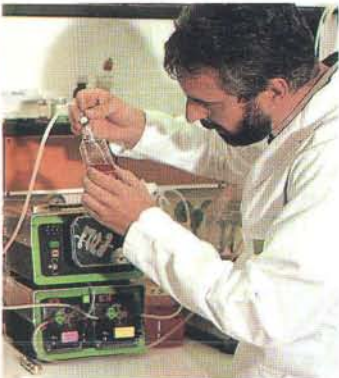
Een hagelslagkorrel die op een rustig plekje tussen onze kiezen achterblijft kan flinke schade toebrengen via een kleverige, zure afzetting. Dat leidt tot ontstekingen, tandsteen, gaatjes of zelfs loszit-

tende tanden. Deze chemische terreur vergt een chemisch antwoord, met als wapens fluoride en moderne tandpasta's.

## Plasmaheelal

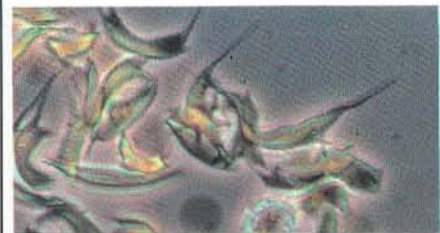
A. Peratt

De oerknaltheorie vertelt ons dat het heelal zo'n twintig miljard jaar geleden ontstond uit een geweldige explosie. De zwaartekracht zorgde daarna voor de vorming van sterrenstelsels. Steeds meer kosmologen blijken echter aanhanger van de plasmatheorie. Zij gaan uit van een heelal zonder begin en eind, waarin de elektromagnetische kracht de dynamica van het heelal beheerst.



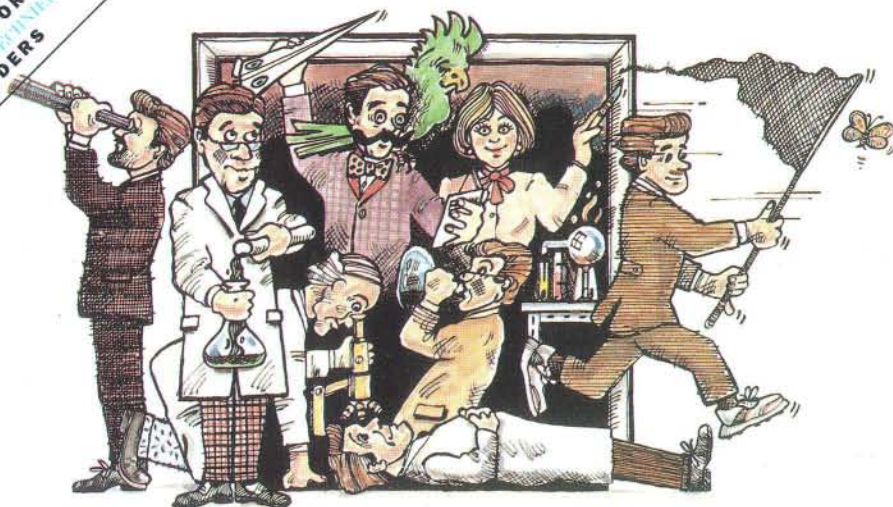
## KIJK OP WETENSCHAP

### Nieuwe genetica



Vandaag de dag kunnen wetenschappers gemakkelijk met genen manipuleren. Als resultaat daarvan kunnen zij erfelijke ziekten steeds vaker al vóór de geboorte opsporen. De toekomst brengt de mogelijkheid van 'gentherapie'.

SPECIAL  
OFFER FOR  
NATUUR & TECHNIEK  
READERS



## How do you get the world of science and technology inside your living room every week?

Imagine what you'd learn if the most eminent minds in science and technology paid you a visit every week.

You might overhear how dolphins are making waves in zoology, for instance. How they actually listen with their jaws - and stun their prey with sound.

Or perhaps you'd catch on to some biting news in the world of entomology. Like how ants know when it's time for dinner.

Failing that, you could benefit from some handy tips on how butterflies are helping the fight against crime. (The Peruvian government plans to release swarms of coca-eating butterflies - with the aim of destroying the illegal traffic in cocaine).

And if you're lucky, you might be spellbound by the latest theory that suggests the snowbound yeti is more of a peace-loving vegetarian than an abominable snowman.

Of course, all these fascinating facts, as well as the more serious side of science and technology, are yours for the asking by subscribing to New Scientist.

Have New Scientist delivered every week and your mind will be in the best company.

With articles from the pens of the world's top scientists.

In order to provide the best service to our readers, Natuur & Techniek and New Scientist are cooperating on a number of editorial projects.

Natuur & Techniek is therefore pleased to offer a subscription to New Scientist at the special introductory rate of just f 182,- or 3300 F - a 35% saving of f 98,- or 1776 F on the normal subscription rates of f 280,- or 5076 F. These rates are only available to readers of Natuur & Techniek. Please use the special card in this issue and send this directly to Natuur & Techniek.

**subscribe to newscientist**  
**and save up to 35% on a subscription**